técnica

372

associação dos estudantes do instituto superior técnico

novembro 1967

revista de engenharia

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40 («Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA

Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA

S. A. R. L.

SEDE

Rua de Alexandre Herculano, 244 — PORTO

TELEFONES: 2 76 76 / 77 / 78 / 79 — Est. 90

DELEGAÇÃO

Rua Rosa Araújo, 35 — LISBOA

TEL.: 73 11 81/82/83/84/85/86 - 73 33 33 - 48 49 91

●

ELECTRICIDADE DO LINDOSO E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

●

A **UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA** distribui, pela mais extensa rede de alta tensão em Portugal (cerca de 2 500 km), energia eléctrica em 70 concelhos, nos distritos de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU, LEIRIA, SETÚBAL e ÉVORA.

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

técnica

NUMERO 372 NOVEMBRO DE 1967 ANO XLII VOLUME XXX PUBLICAÇÃO MENSAL

Director
Vitor M. M. Pinto

Administrador
Vitor Coias e Silva

Redactores
A. J. Tavares Pires
J. C. Alves da Silva
João M. Pereira

Editor e Proprietário
Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico

Redacção e Administração
Avenida Rovisco Pais
Telefone 77 54 49
Lisboa 1

Assinaturas

		5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	—	70$00	130$00
Ultramar, Brasil e Espanha	—	80$00	140$00
Estrangeiro	—	90$00	150$00

Número avulso — 20$00

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Composto e impresso na Tipografia Jorge Fernandes, Lda. — Rua da Cruz dos Poiais 103 — Lisboa

SUMÁRIO

71 *VIRGÍLIO IGREJA* e *LUÍS MALTEZ* — **A short response-time liquid density transducer**
Um transdutor de pequeno tempo de resposta utilizado na medição de densidades de líquidos

79 *A. M. R. MARRECAS* — **Da teoria da fonte móvel num meio infinito**
On the theory of a moving heat source in an infinite medium

83 *CARLOS PORTELA* — **Representação tensorial do comportamento incremental de elementos de redes eléctricas. Algumas aplicações**
Tensorial representation of electric networks incrementa behaviour. Some applications.

95 *BRASÃO FARINHA* — **Construção civil industrializada**
Industrialized building

107 *SIMÕES DE ALMEIDA* — **Homogeneização em parques de minério**
Homogenization in stockyards

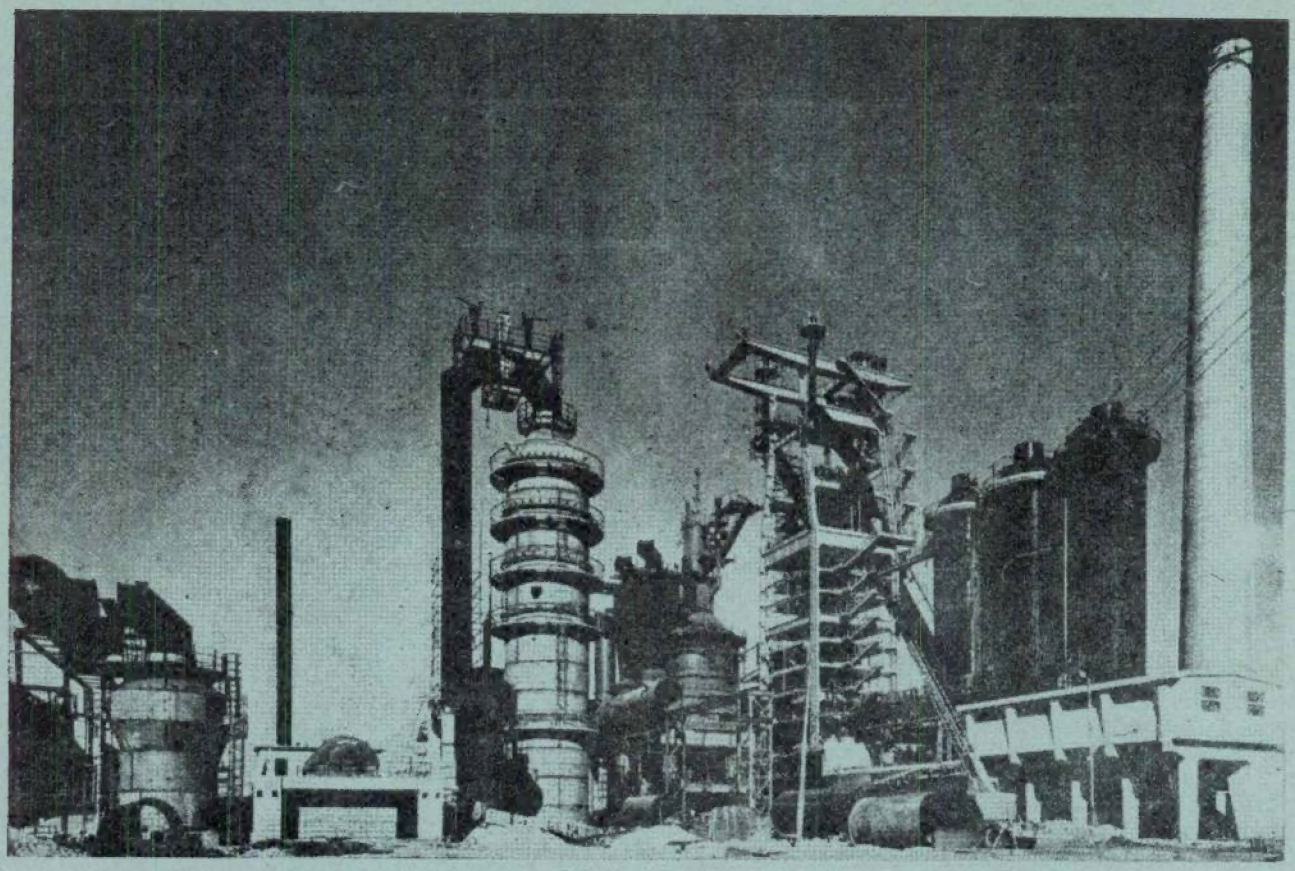
122 **Notas Informativas**
Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

127 **Bibliografia**

CAPA: Parque de Minérios do Porto do Saco (Moçâmedes) — Máquina de emparcamento e retoma.

ÍNDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd.	XXVII
Aguiar e Melo, Lda.	XXIX
Auto-Lusitânia	2.ª da capa
Bosch	XIX
Cerâmica de Vale de Lobos, Lda	VI
Cimento Secil	2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos	VIII
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos	XXX
Construções Técnicas	XXIII
Dial	XXVI
Electrotécnicos Reunidos	XX
Electro-Arco, Ltd.ª	IV
Empresa de Cimentos de Leiria	III
Empresa Electro Cerâmica	VII
Empresa de Produtos Asfálticos	X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda.	3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	XVI
Fanafel	XVI
Fundações Franki, Lda.	I
Guedes & Almeida, Lda.	IX
Harker Sumner & Comp.ª, Lda.	XIV
Heliaço	2.ª da capa
ICI	XXIV
I. S. T.	XXVI
Jayme da Costa, Lda.	XVII
Johann Keller	II
J. J. Silva & Irmão	VII
MAGUE	XIII
MEC	VI
Novobra, Lda.	XXVI
Rotring	XXVIII
Siemens	4.ª da capa
Soc. Industrial Metalúrgica	II
Sociedade Portuguesa Cavan	VIII
Soc. Portuguesa de Válvulas	XVIII
Sondagens e Fundações A. Cavaco	IV
Sondagens Ródio, Lda.	II
Sopecate	IV
Standard Eléctrica	V
STET	XXI
Tudor	II
União Eléctrica Portuguesa	2.ª da capa
VARIG	XII
Wild Portugal, Lda.	XV



ALTO FORNO — SIDERURGIA NACIONAL (Seixal)

Assente sobre Estacas FRANKI

FUNDAÇÕES FRANKI L.DA

RUA BRAAMCAMP, 13-3.º — LISBOA 1 — TEL. P. P. C. 53 41 12/3/4 — ENDEREÇO TELEGRÁFICO: FRANKI — LISBOA

PRÉDIO SANTOS GIL, 6.º ANDAR — SALA 10 — TEL. 9 11 67 — CAIXA POSTAL 1397

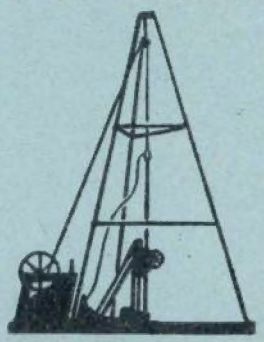
ENDEREÇO TELEGRÁFICO: FRANKI—LOURENÇO MARQUES

SONDAGENS RÓDIO, L.DA

LISBOA

RUA DE S. BENTO, 644-3.º

Telefones: 68 80 96/7/8 ✦ Telegramas: SETANSOL



RODIO

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
ESTACAS GUNITA
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
CONGELAÇÃO DO TERRENO
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ABAIXAMENTO DO LENÇOL DE ÁGUA

—//—

Engenheiro Consultor: **Walter Weyermann**

SOCIEDADE INDUSTRIAL METALURGICA

Responsabilidade Limitada

(REGISTADO)

■ ■ ■

SERRALHARIAS,

CALDEIRARIA,

FERRARIA,

FUNDIÇÕES

■ ■ ■

ESCRITÓRIO

Rua de S. Tiago, 13

LISBOA

Telefone 86 19 72

ao serviço da energia

BATERIAS ESTACIONÁRIAS

TUDOR

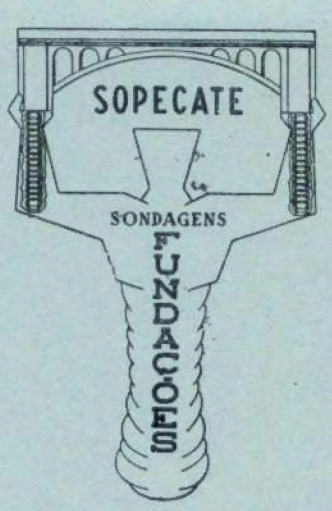
SENHORES
ARQUITECTOS
ENGENHEIROS
EMPREITEIROS
CONSTRUTORES

CALCINA

É hoje em Portugal o melhor ligante hidráulico para argamassas, rebocos e alvenarias.

Prefiram, pois, C A L C I N A

Entregas permanentes de dia e de noite nas Fábricas de Cimento "Tejo" - Alhandra e do "Cabo Mondego" - Figueira da Foz, e através da vasta rede de revendedores espalhados por todo o País



SOPECATE

SONDAGENS
FUNDAÇÕES

Escritório — R. DO ARSENAL, 146, 2.º Esq., Dt.º e Fr.te
Estaleiro e Oficina — RUA PEREIRA HENRIQUES, 58

TELEFONES
SERVIÇOS ADMINISTRATIVOS 34010
SERVIÇOS TÉCNICOS 320208
ESTALEIRO E OFICINAS 381238

LISBOA

• ESTUDOS, PESQUISAS E CAPTAÇÕES DE ÁGUA

• SONDAGENS

• REBAIXAMENTO DE NÍVEIS AQUÍFEROS

• FUNDAÇÕES

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.
R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R/C ESQ. — LISBOA-1
- TELEF. 56 11 71/72/73

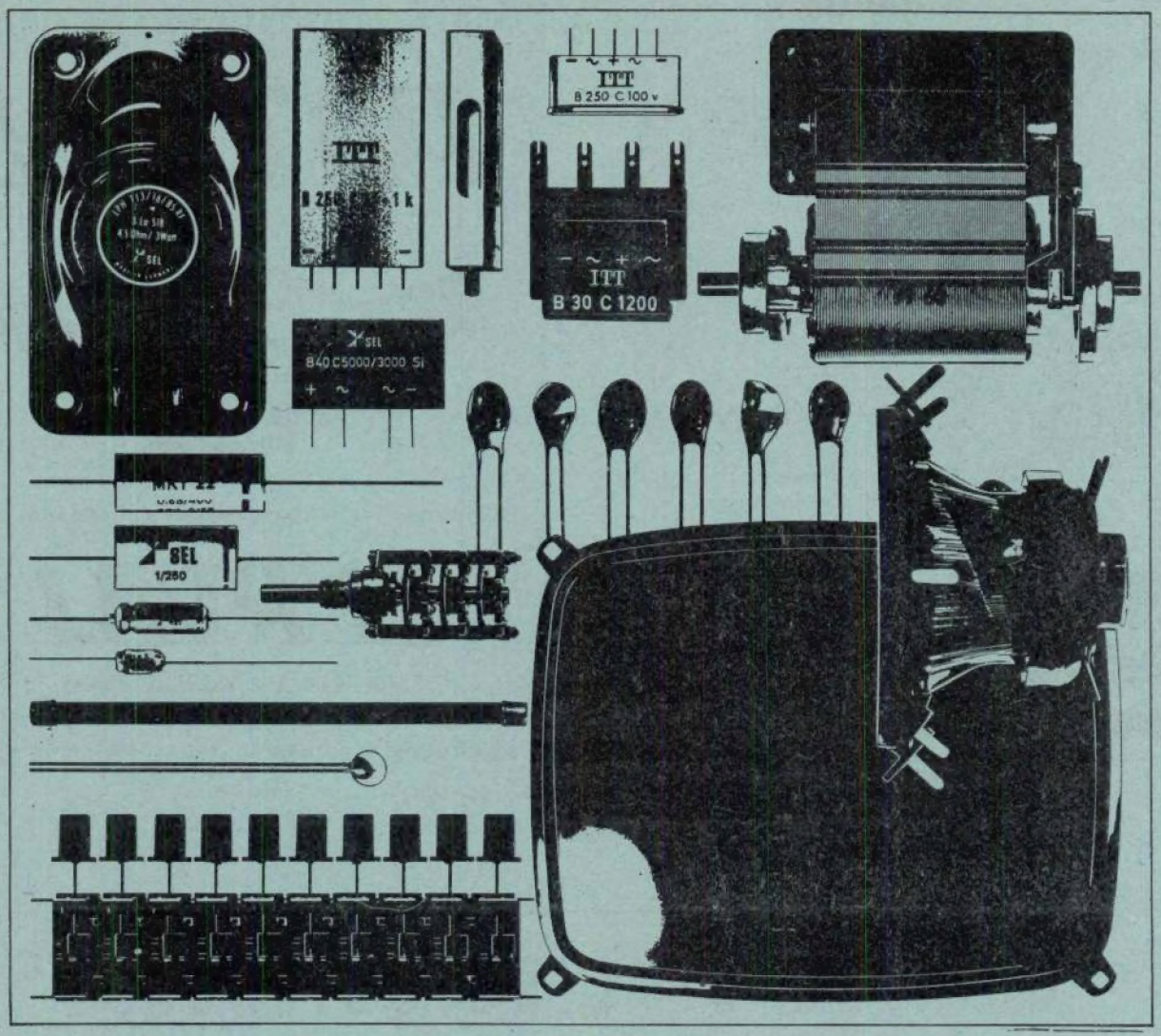
ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS
PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

*

MATERIAL APROVADO PELOS
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
GERMANISCHER LLOYD

LISBOA
Rua Silva Carvalho, 239
Tels. 68 36 49 - 68 48 93
FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Venda Nova — Amadora
Tels. 97 06 13 - 97 17 33
PORTO
Rua do Bolhão, 216
Tel. 2 12 77 - 39 44 73



Todos os componentes para electrónica doméstica e aos preços mais convenientes!

Os fabricantes de receptores, de rádio ou TV, e aparelhos electro-domésticos ou os dirigentes de organizações de assistência e reparações ou ainda os armazenistas ou distribuidores de componentes necessitarão de detalhes completos sobre a vasta linha de componentes ITT para equipamentos domésticos, electrónicos e eléctricos.

A ITT fabrica pràticamente tudo quanto se insere num «chassis», desde o cinescópio para TV a cores, com a respectiva bobina de deflexão, até ao simples condensador ou resistência.

Os rectificadores de selénio ou silício da ITT rectificam a corrente do sector e fornecem a alta tensão para os cinescópios em televisão a preto e branco ou a cores. É igualmente possível escolher transistores e diódios para todos os andares do circuito. Os altifalantes ITT estendem-se desde pequenos modelos para receptores portáteis e automóveis até conjuntos para equipamentos de reprodução da mais alta qualidade.

Para equipamentos electro-domésticos a ITT fabrica uma vasta linha de motores, ventiladores e bombas, bem como interruptores de teclas e rotativos, todos os tipos de relés, rectificadores e tiristores.

Todos estes componentes originários de fábricas europeias oferecem a qualidade e fiabilidade da organização de telecomunicações e electrónica da ITT.

Por outro lado, estes componentes são feitos de modo a admitir margens de lucros que permitem plena competição nos mercados de equipamentos domésticos.

Procure conhecer a enorme possibilidade de escolha oferecida pelos componentes electrónicos e eléctricos da ITT. Peça indicação dos descontos por quantidades. Para informações relativas aos componentes ITT consulte:

STANDARD ELÉCTRICA S.A.R.L.
Avenida da India
Lisboa - 3
Telefone: 638171
Telex: 1572 MICROF P

componentes de alta qualidade

ITT Standard

67/7-P

válvulas electromagnéticas

Manómetros
Pirómetros eléctricos
Redutores de pressão
Termómetros
Termostatos
Válvulas para ar e gases

PRODUÇÃO NACIONAL
AO NÍVEL INTERNACIONAL

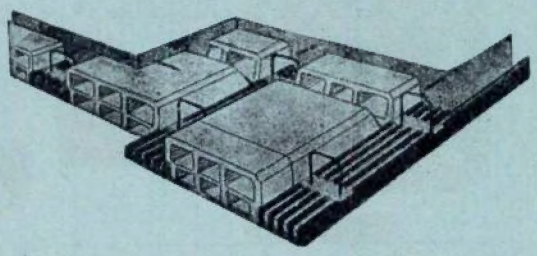
MEC - FÁBRICA DE APARELHAGEM INDUSTRIAL, LDA.
SANTA IRIA DE AZÓIA — TEL. 259 140 /159

- FILIAL em LISBOA: Rua D. Estefânia, 151 C
- FILIAL no PORTO: Rua Fernandes Tomaz, 223

TELEFS. 53 59 32 / 5 40 66

PRÉ - ESFORÇADOS CERÂMICOS

PATIAL
patente stahlton



PAVIMENTOS, TECTOS, FORROS, COBERTURAS, ASNAS, SILOS

CERVAL

CERÂMICA VALE DE LOBOS, L.DA

R. JOAQUIM A. AGUIAR, 41, 5.º-D. - LISBOA - TEL. 53 11 38/9/0

GUIA DE ANÁLISE QUÍMICA DAS ÁGUAS

(Potáveis, Minerais e para a Indústria)

POR A. HERCULANO DE CARVALHO

Prof. do I. S. T. e do Instituto de Hidrologia de Lisboa

Preço 90$00

CÁLCULO DE PÓRTICOS

Método de cálculo simples e rápido, entrando em linha de conta com o deslocamento dos nós

por G. Kani

Preço 50$00

Pedidos à «Técnica» *Desconto 10 % aos assinantes*

EMPRESA ELECTRO CERÂMICA

S. A. R. L.

FABRICANTE DE ISOLADORES PARA EQUIPAMENTO DE SUB-ESTAÇÕES TRANSFORMADORES E DE LINHAS DE TRANSPORTE DE ENERGIA EM ALTA TENSÃO

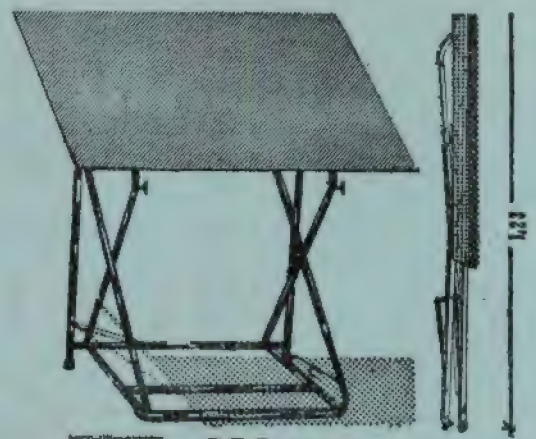
fabrica igualmente

- isoladores de baixa tensão
- pequena aparelhagem eléctrica em ebonite e porcelana
- tubo plástico "Polivolt" para protecção de condutores
- material em refractário especial para aparelhos de aquecimento

DANIEL VIDAL

SEDE L. BARÃO DE QUINTELA, 3-1.º LISBOA
FÁBRICA-CANDAL-VILA NOVA DE GAIA

EC 61·1



850 esc.

CARACTERÍSTICAS: Tubo de aço, articulado em qualquer posição, várias inclinações, fàcilmente transportável, não ocupa espaço quando fechado, pranchas de 1,20 × 0,80 de madeira, em tela. Pintura de estufa.

Em exposição, outros modelos de madeira e metálicos e todo o material de consumo e equipamento de desenho, escritório e papelaria

Distribuidores exclusivos, em Lisboa, do estirador da ***Fábrica Otale***

J. J. SILVA & IRMÃO, LDA.

rua silva carvalho 232-b · lisboa · telefone 652750 / 680671

Acaba de aparecer

TOPOGRAFIA GERAL

2.º Volume

Pelo Eng.º A. C. XEREZ

Nova edição revista e actualizada

Preço 150$00

Desconto: 10% aos assinantes

Pedidos à Técnica

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 66 61 86 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS
COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

SOCIEDADE PORTUGUESA
Carvam

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A-LISBOA-1 -TELEF. 47812-50129

WABCO

WESTIN'GHOUSE
AIR BRAKE COMPANY

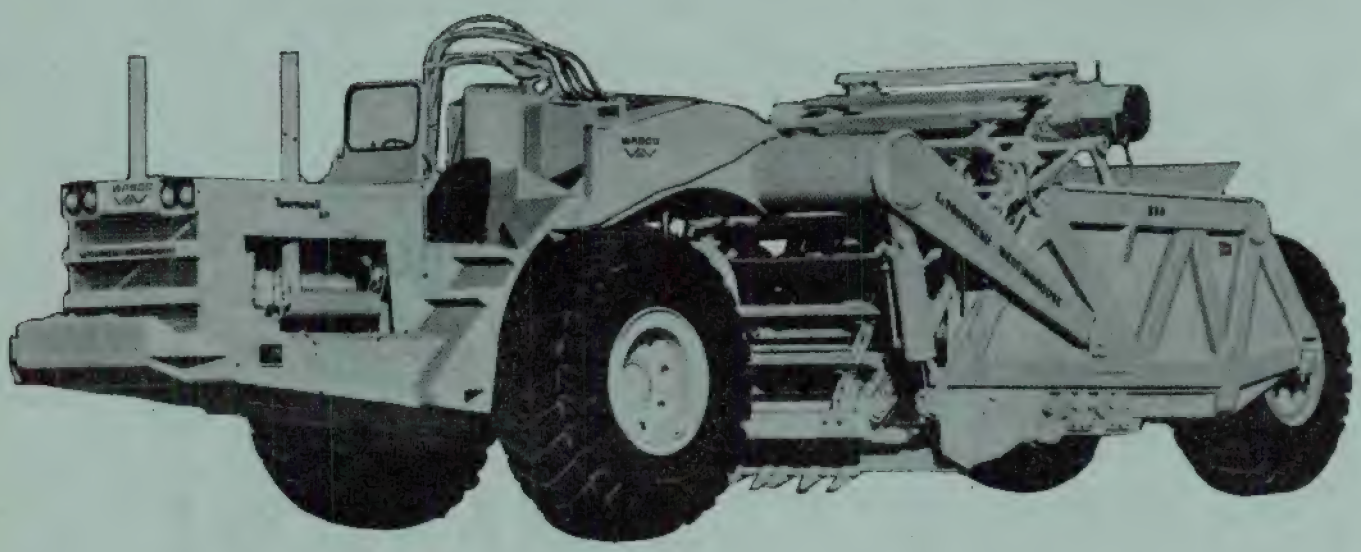
Construction Equipment Division
Peoria (Illinois)-61601

"TOURNAPULL-SCRAPERS"

CAPACIDADE DE 11, 21 E 31 JARDAS CÚBICAS

NÃO NECESSITA DE TRACTOR PARA EMPURRE!
UMA SÓ MÁQUINA... UM SÓ OPERADOR...

Escarifica... Carrega... Transporta... Descarrega... Em terrenos de toda a natureza!



DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

GUEDES & ALMEIDA LDA.

Rua Áurea, 181-2.º — LISBOA-2 — TELEFS. 32 50 80 e 32 78 45

Através das suas organizações de: LISBOA • LUANDA LOBITO • NOVA LISBOA e Agências de: PORTO, GUINÉ, S. TOMÉ E PRÍNCIPE e CABO VERDE fornecerá todos os elementos técnicos, para criteriosa escolha, assistência técnica e sobresselentes.
A1-a

Celulite

ISOLAMENTO TÉRMICO DAS CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS

*

TECTOS

*

PAREDES

*

CÂMARAS FRIGORÍFICAS

*

ISOLAMENTOS INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. • RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º • TEL. 53 01 56 — LISBOA

Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA

TELEF. 53 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

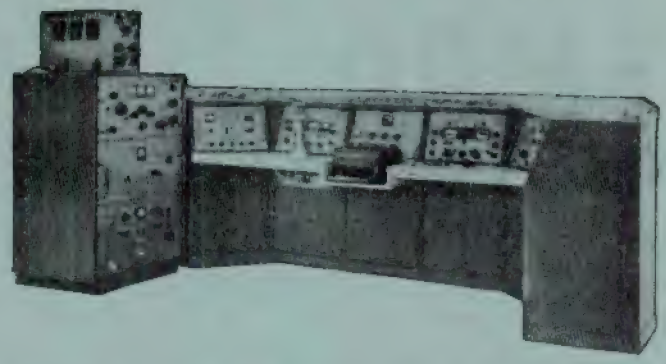
EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS

IMPERMEABILISADOR

IMEPA

RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º - LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM



Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

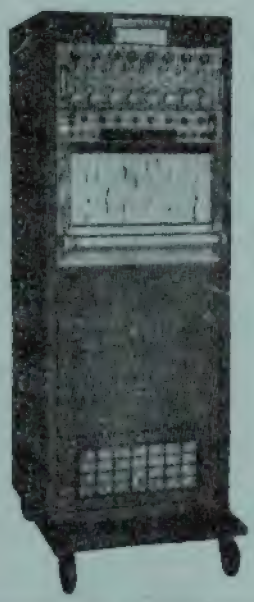
THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

HEWLETT hp PACKARD

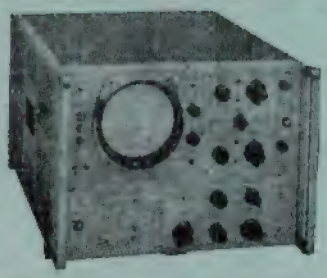
aparelhagem electrónica de medida e registo

Osciloscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

Registador Sanborn



Registador digital Dymec



Osciloscópio HP

Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.

McCANN

O TEMPO CONTA

O ritmo de vida do homem de negócios de hoje não permite desperdício de tempo

LISBOA

Às 11,45 horas ainda pode estar no seu escritório

EM VIAGEM

Almoço de classe internacional

PARIS

Reunião de negócios às 16 h

LISBOA

Às 9 horas da manhã do dia seguinte, porque regressou a Lisboa às 0.40 h

A VIAGEM AÉREA

LISBOA · PARIS

(ÀS 2.as 4.as E 6.as FEIRAS)

com partida de Lisboa às 13,10 h permite-lhe aproveitar cada minuto do seu precioso tempo

MAIS UM SERVIÇO EUROPEU DA

VARIG

Linhas Aéreas Brasileiras

técnica

NUMERO 372 NOVEMBRO DE 1967 ANO XLII VOL. XXX PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 531.756 : 621.317.7

A SHORT RESPONSE-TIME LIQUID DENSITY TRANSDUCER (*)

by VIRGÍLIO IGREJA
LUÍS MALTEZ
Companhia União Fabril
Research Center

RESUMO

Este trabalho descreve um novo instrumento para a tradução contínua da densidade de líquidos numa grandeza eléctrica (corrente contínua), cuja intensidade está relacionada linearmente com essa densidade.

Embora seja do tipo clássico de flutuador, este densímetro é novo *nas soluções encontradas para a detecção, transferência e tradução das variações da impulsão sobre o flutuador, devidas a variações da densidade do líquido em que aquele se encontra mergulhado.*

Daqui resultam as seguintes características de funcionamento, muito importantes num densímetro industrial:

i) independência das variações do caudal e da viscosidade do líquido; ii) independência da pressão de trabalho; iii) independência das variações da temperatura do líquido (quando desejada); iv) tempo de resposta muito pequeno; v) grande sensibilidade e grande reprodutibilidade; vi) independência da distância a que é transmitido o sinal de saída.

A exactidão actual conseguida é de 0,5 %, sendo fàcilmente detectáveis variações de densidade tão pequenas como 0,0001 g.cm⁻³.

Além das aplicações imediatas em todos os ramos industriais onde a medida da densidade de líquidos é necessária (indústrias químicas, petrolíferas, alimentares, de papel, de cimento, etc.) este instrumento é especialmente útil, dado o seu pequeno tempo de resposta, naqueles casos em que a medida de densidade deve ser ràpidamente obtida com um diminuto caudal de líquido. É o caso, por exemplo, da medida da densidade de um líquido obtido por difícil filtração de lamas de fabrico.

SYNOPSIS

Based on a new concept of the floater type densimeter, this paper introduces a new device for transducing continuously the density of a liquid in such a way that the following interesting features are achieved:

i) independence of the flow-rate and the viscosity of the liquid;

ii) independence of the working pressure;

iii) independence of the liquid temperature;

iv) a short response time;

v) high sensitivity and repeatability;

vi) easiness in remote transmission.

The present results show an overall accuracy better than 0.5 % f. s. d., a deviation of 0.0001 Sp. G. units being easily detected.

Beside the immediate applications in all industrial fields where a measure of density is necessary (chemical and petrochemical industries, food industry, paper and pulp industry, etc.), the device is very suitable in all cases where a continuous and quick density measurement on reduced variable flow-rate sample is a must. This can be, for instance, a filtrate obtained from a slurry.

(*) Presented at the International Measurement Congress IMEKO IV held in Warsaw, Poland, 3-8 July 1967.

1. INTRODUCTION

In the present state of the art of continuously transducing the density of a liquid into an electrical signal, there are some features which are almost always desirable for the transducer. They are: i) independence of the liquid flow-rate and viscosity; ii) independence of the working pressure; iii) independence of the liquid temperature; iv) a short response time; v) a high sensitivity and repeatability; vi) easiness in remote transmission.

The features i) to iii) are necessary to eliminate the main disturbing variables affecting the measure. Feature iv) is required whenever working with very low flow-rates. A high sensitivity is a must in a number of applications and repeatability is indispensable for precise measurements. At last an electrical signal capable of being easily remote transmitted is almost always desirable since the indication is generally located at some distance from the measuring point.

The particular problem of continuously and quickly transducing into an electrical signal the specific gravity of a filtrate obtained from a slurry, at a very reduced and variable flow-rate, with temperature compensation and high sensitivity and repeatability, led the Research Center of Companhia União Fabril to develop a densimeter ([1]) with all the above said features. This densimeter is based on a new concept of the floater type densimeter.

([1]) Portuguese patent n° 43662 of the 2.26 1965, in the name of Companhia União Fabril.

In order to obtain independence of the liquid flow-rate and viscosity, the floater is located along the current lines, these being horizontal; in this way the disturbing forces do not affect the floater apparent weight, vertically measured, which is related with the liquid density. The temperature independence is obtained through a reliable hydraulic system, installed inside the floater. The use of a tubular floater, concentric with a closed tube conducting the fluid, both parts being of almost equal diameters, allows the measuring in closed pipe on a reduced liquid volume; consequently a short response time and independence of the liquid pressure are obtained. A force balance weighing system wich does not mechanically touch the floater (the force transmission is carried out magnetically) guarantees a high repeatability. Finally, the output signal (0-10 mA, D. C.) of this force balance weighing system, being the restoring variable through its feedback circuit, may be easily remote transmitted without affecting the measure.

2. WORKING PRINCIPLE

2.1. Densimeter

As shown in figure 1 this densimeter is basically composed of two units mechanically connected. The first one is composed of a tubular floater f concentric with a nonferromagnetic material tube C coupled through an articulation O. The tube C is the measuring vessel and it is meant to conduct the liquid. The floater thoroughly immerges into the fluid.

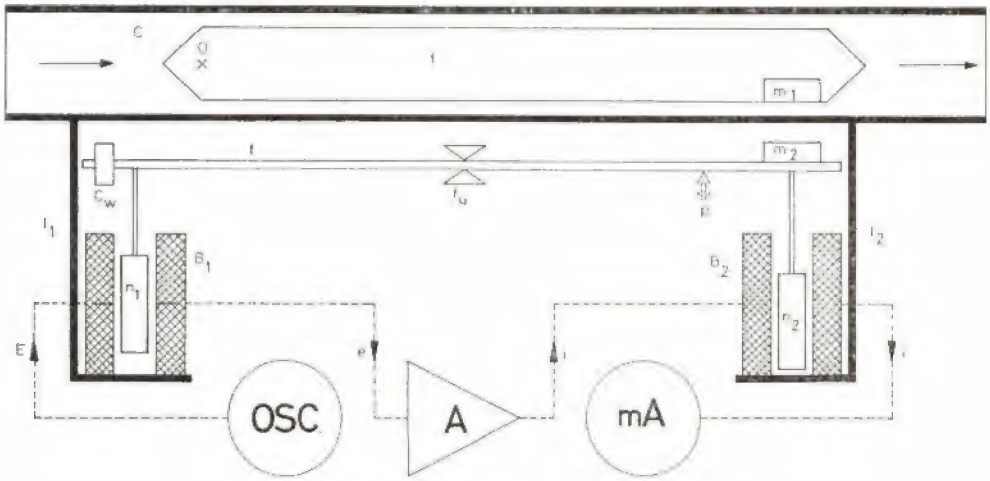


Fig. 1

The other unit is composed of an automatically balanced weighing set having a lever t, to which a ferromagnetic core n_1, a permanent-magnet n_2 and also a permanent-magnet or a permanent--magnet set m_2 are attached. Besides, the weighing assembly also disposes of two coils B_1 and B_2, the formei being the detection coil of the n_1 core position and the latter the driving coil which exerts an electromagnetic force on the permanent--magnet n_2.

These coils are rigidly linked to the tube C by the parts pointed out in figure 1 as l_1 and l_2.

Inside the floater f lays a permanent-magnet m_1 in such a position that it applies a repulsive force on the above said permanent-magnet set m_2. The screw p is the limiter of the movement of the weighing set lever and f_u is its fulcrum. The coils are electrically connected according to the diagram of figure 2 where A represents a regulating device (an electronic amplifier in its simpler form); mA represents an ammeter.

magnetic repulsion force R due to the magnets m_1 and m_2, upwards.

From the torque balancing we have:

$$P \cdot a = I \cdot b + R \cdot c \qquad (1)$$

where a, b and c are the arms corresponding to each force and

$$I = V \cdot u \qquad (2)$$

V being the floater volume and u the liquid specific gravity (weight of the volume unit). Whenever the liquid specific gravity changes the floater slightly moves and the repulsive force R changes too. From (1) and (2) we get

$$\Delta R = - K_1 \cdot \Delta u \qquad (3)$$

where ΔR is the change of the repulsive force R, Δu the corresponding change of the specific gravity u and K_1 a constant obtained from the

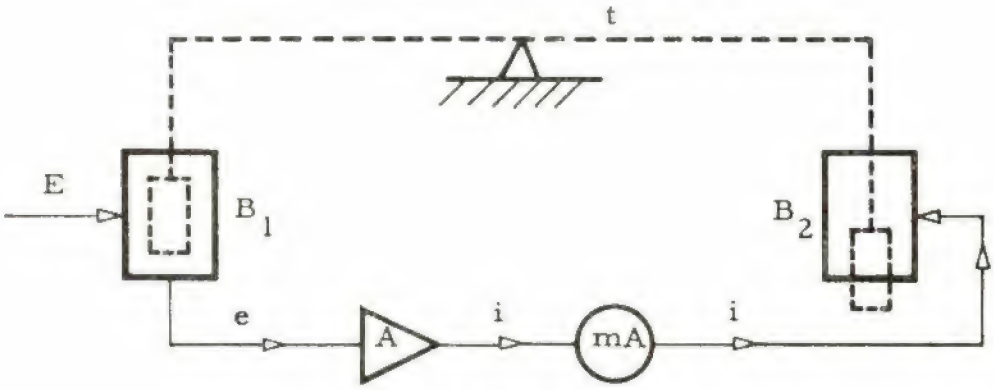


Fig. 2

The working principle of this densimeter is, in short, the continuous weighing of the floater immersed in the liquid by means of an automatically balanced electromagnetic weighing set which does not mechanically contact the floater.

As the apparent weight, which unbalances the weighing set, depends on the liquid specific gravity, the intensity of the rebalancing current may be related to the specific gravity of the liquid where the floater immerges. This current may be used as a measure for the specific gravity of the liquid.

As a matter of fact, the floater is balanced under the action of three forces: self weight P dowwnards, impulsion I due to the liquid, and

constants of (1) and (2). As R changes the weighing set endures a small unbalance which causes a small displacement of the core n_1 inside the coil B_1. In this coil, which is a differential transformer, the displacement gives place to an electrical voltage e with the frequency of the voltage E which feeds the primary winding of the mentioned differential transformer. Voltage e, by its turn, is the imput of an electronic amplifier A which sends a continuous corrent i to the driving coil B_2. This current gives rise to a force f_r on the permanent-magnet m_2 and, therefore, on the weighing set lever. This lever suffers the action of three forces: self weight P', downwards (at the fulcrum left or right according

to the position of its center of gravity), repulsive force R and driving coil electromagnetic force f_r.

From the torque balancing equation and following a reasoning similar to the one that led us to equation (3), we can draw the following conclusion :

$$\Delta f_r = -K_2 . \Delta R \qquad (4)$$

where K_2 is a constant.

From (3) and (4) we have

$$\Delta f_r = K_1 . K_2 . \Delta u \qquad (5)$$

i. e., the variations of the force f_r are proportional to the specific gravity variations of the liquid where the floater is sunk. On the other hand as

$$\Delta i = K_3 . \Delta f_r \qquad (6)$$

where K_3 is a constant, is the equation that relates the d. c. intensity i, feeding the coil B_2, with the force f_r applied to the permanent-magnet n_2, we obtain from (5) and (6) the equation

$$\Delta i = K_1 . K_2 . K_3 . \Delta u \qquad (7)$$

which is the basic equation of the densimeter.

2.2. Temperature compensation system

A well known method for temperature compensation is the use of a temperature transducer, the output of which is added to the densimeter one at the work temperature, in such a way that the final signal corresponds to the liquid specific gravity at the reference temperature. For very accurate measurements, this method implies a compensation system of high quality which increases the price and complexity of the device. This complexity generally implies a more expensive maintenance and a certain loss of reliability. On the other hand the feedback current of the weighing set related with the liquid specific gravity should preferably be completely free from any disturbing signals. For this purpose a particular temperature compensation system [2] well suitable to this densimeter was developed wich renders the device insensible to those fluctuations of specific gravity exclusively deriving from changes in the liquid temperature.

The working principle of this system is to obtain a correspondence between the position of a mass placed inside the floater and the temperature of the liquid, in such a way that the changes in the buoyancy torque, due to fluctuations of the liquid specific gravity (caused by the changes in its temperature), are exactly compensated by the changes in the floater weight torque obtained from the adequate displacement of that aforesaid mass. In fact, from the above equations

$$P . a = I . b + R . c \qquad (1)$$

$$I = V . u \qquad (2)$$

we get

$$P . a = V . u . b + R . c \qquad (8)$$

where P is the floater actual weigth, V is the floater volume, u is the specific gravity of the liquid, R is the magnetic repulsion acting on the permanent magnet fixed to the floater and a, b and c are the arms corresponding to each force and referred to the axis O. In order that R does not change with the fluctuations of the specific gravity (caused by changes in the liquid temperature) and, in this manner, does not change the feedback current of the self-balanced weighing set (that is to say, does not change the output of the device), the floater center of gravity must suffer the displacement Δa given by the equation :

$$P . \Delta a = V . b . \Delta u \qquad (9)$$

On the other hand, we have

$$\Delta u = K . \Delta T \qquad (10)$$

where K is the variation coefficient of density with temperature.

From (9) and (10) we get :

$$P . \Delta a = V . b . K . \Delta T \qquad (11)$$

In brief, we can say that the device output signal does not change with the temperature fluctuations ΔT if, simultaneously, the center of gravity of the floater is displaced of Δa according to the equation (11), which is the basic equation of the temperature compensation arrangement.

[2] Portuguese patent nº 46 649 of the 10.29.1966, in the name of Companhia União Fabril.

Fig. 3

The mass placed inside the floater is a liquid which fills up a system formed by two chambers linked by a tube of very small diameter (fig. 3). One of the chambers has a constant volume (rigid walls); the other one has a variable volume (movable walls). The device is fixed inside the floater, the variable volume chamber being at the side of the floater pivot and the constant volume chamber at the opposite side. When the surrounding temperature changes the quantity ΔT, the interior liquid volume must change the quantity Δv, in such a way that

$$P \cdot \Delta a = l \cdot \Delta v \cdot u' \qquad (12)$$

where l is the distance between the chambers (approximately constant) and u' is the final specific gravity of the liquid filling up the system. As we have, on the other hand:

$$\Delta v = K' \cdot \Delta T \cdot v_0 \qquad (13)$$

where v_0 is the initial volume of the interior liquid and K' its relative variation coefficient of me with temperature, we get from (11), (12) and (13):

$$l \cdot u' \cdot K' \cdot v_0 = V \cdot b \cdot K \qquad (14)$$

This equation shows that it is possible to obtain a total temperature compensation adjusting v_0 or l, when u' and K' are fixed by the choice of the interior liquid of the system.

Fig. 4 is a block diagram illustrating the feedback circuits in the device.

3. DETAILS OF OPERATION

3.1. Range and Zero Adjustment

The instrument output is a D. C. current varying from zero to 10 mA. The sensitivity is primarily fixed by the floater volume V; adjustments are obtained through a «range resistance» shunting the driving coil. Zero adjustments can be made changing the position of the weighing set counterweight C_w.

3.2. Independence of Flow Rate and Viscosity

A complete independence of flow rate and viscosity is obtained only when the floater is perfectly concentric with the pipe conducting the liquid. However if the repulsion force R between magnets m_1 and m_2 is large enough, the floater position is practically fixed for all values of density in the range and so a very satisfactory independence is attained.

3.3. Calibration of the Temperature Compensation System

As shown at the end of section 2.2 this adjustment can be made by changing the values of v_0 (the volume of the compensation liquid) or l (the distance between the chambers). Both methods have already been used the latter one permitting an easier calibration. In this method a metallic flexible tube has been used.

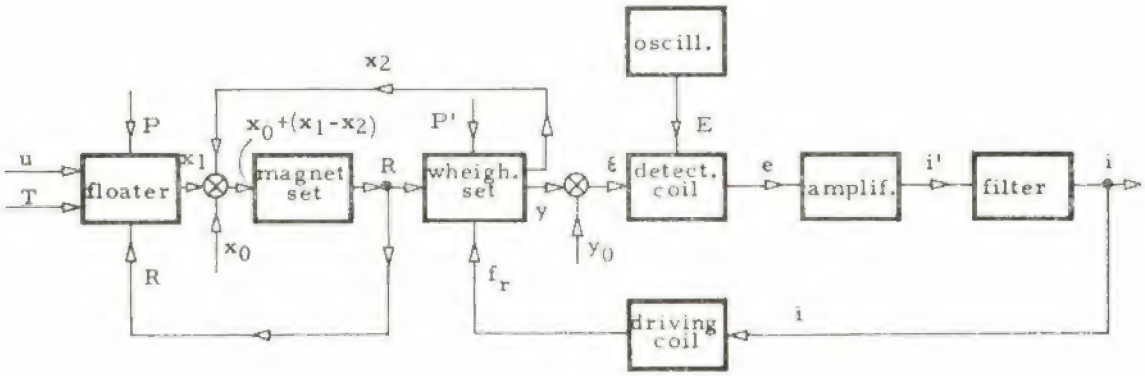
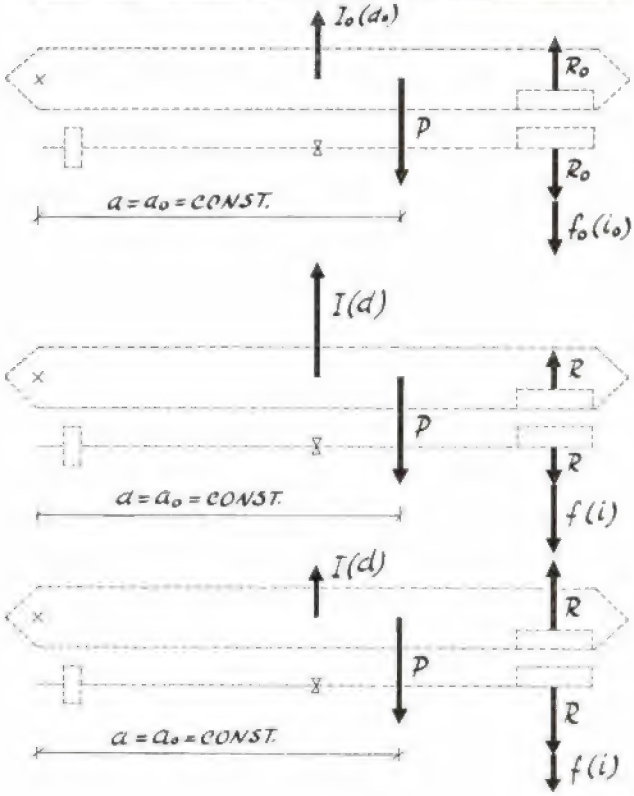


Fig. 4

DENSIMETER WORKING PRINCIPLE (d-VARIABLE, T-CONSTANT)



1) d-CONSTANT

$d = d_o \rightarrow I = I_o \rightarrow R = R_o \rightarrow f = f_o \rightarrow i = i_o$

$\boxed{d_o \longleftrightarrow i_o}$

2) d-INCREASES

$d > d_o \rightarrow I > I_o \rightarrow R < R_o \rightarrow f > f_o \rightarrow i > i_o$

$d > d_o \rightarrow i > i_o$

$\boxed{d \longleftrightarrow i}$

3) d-DECREASES

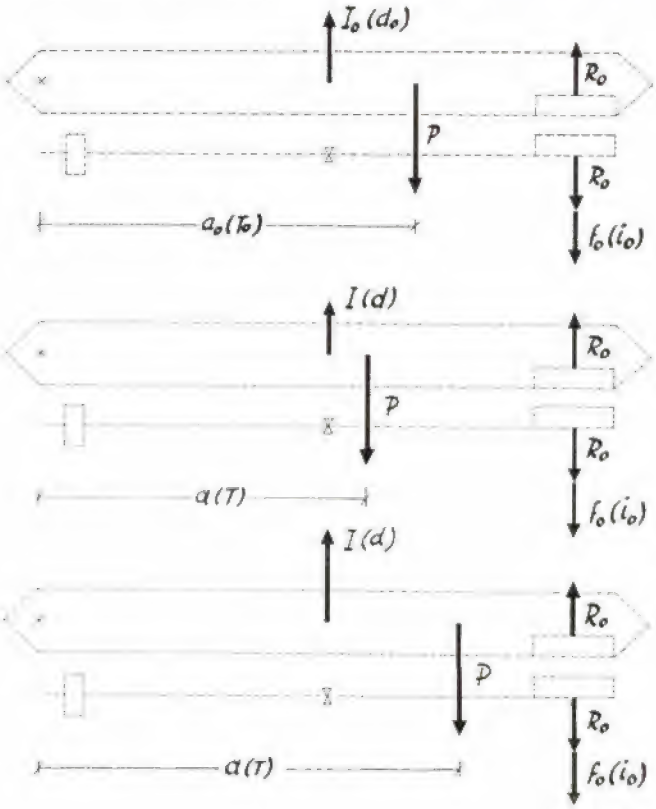
$d < d_o \rightarrow I < I_o \rightarrow R > R_o \rightarrow f < f_o \rightarrow i < i_o$

$d < d_o \rightarrow i < i_o$

$\boxed{d \longleftrightarrow i}$

Fig. 5

DENSIMETER WORKING PRINCIPLE (T-VARIABLE → d-VARIABLE)



1) T-CONSTANT → d-CONSTANT

$\left.\begin{array}{l} T = T_o \rightarrow a = a_o \\ d = d_o \rightarrow I = I_o \end{array}\right\} \rightarrow R = R_o \rightarrow f = f_o \rightarrow i = i_o$

$\boxed{(d_o, T_o) \longleftrightarrow i_o}$

2) T-INCREASES → d-DECREASES

$\left.\begin{array}{l} T > T_o \rightarrow a < a_o \\ d < d_o \rightarrow I < I_o \end{array}\right\} \rightarrow R = R_o \rightarrow f = f_o \rightarrow i = i_o$

$\boxed{(d, T) \longleftrightarrow i_o}$

3) T-DECREASES → d-INCREASES

$\left.\begin{array}{l} T < T_o \rightarrow a > a_o \\ d > d_o \rightarrow I > I_o \end{array}\right\} \rightarrow R = R_o \rightarrow f = f_o \rightarrow i = i_o$

$\boxed{(d, T) \longleftrightarrow i_o}$

Fig. 6

In high sensitivity measurements the use of a temperature compensation system is inevitable due to the slight influence of temperature on the floater dimensions.

3.4. Limitations

Any disturbance affecting the floater apparent weight, alters the output. Expected disturbances are generally gaseous bubbles and solid particles which adhere to the floater. Nevertheless the pipe and floater geometry permits to work at a liquid velocity which reduces that adherence. Anyway it is advisable to avoid such a problem.

Another important disturbance may be the floater corrosion because this affects the floater weight and/or volume. This generally leads to a zero shift. The floater material must therefore be carefully chosen according to the liquid.

Friction torques at the floater articulation are negligible compared with the liquid impulsion torque variation.

4. TEST RESULTS

Diagram I shows the results obtained from different mixtures of aircraft fuels using an instrument without temperature compensation. The actual temperature was $T = 21 \pm 1°C$. It was possible to apreciate specific gravity changes of 0.0003 g cm^{-3} in the range $u_{min} = 0.7059$ g cm^{-3}, $u_{max} = 0.7418$ g cm^{-3} ($\Delta u = 0.0359$ g cm^{-3}). The twenty measured values are located between 15 and 80 % f. s. d., approximately. The resulting maximum error was 1.35% f. s. d. referred to the best straigth line adjusted to the points. The floater used had a lenght of 350 mm and a diameter of 26 mm, the inner diameter of the pipe conducting the liquid being 34 mm. With a pulsating flow-rate of 4 l min^{-1} furnished by a peristaltic pump, which did not disturb the output, those dimensions led to a response-time of about 5 seconds.

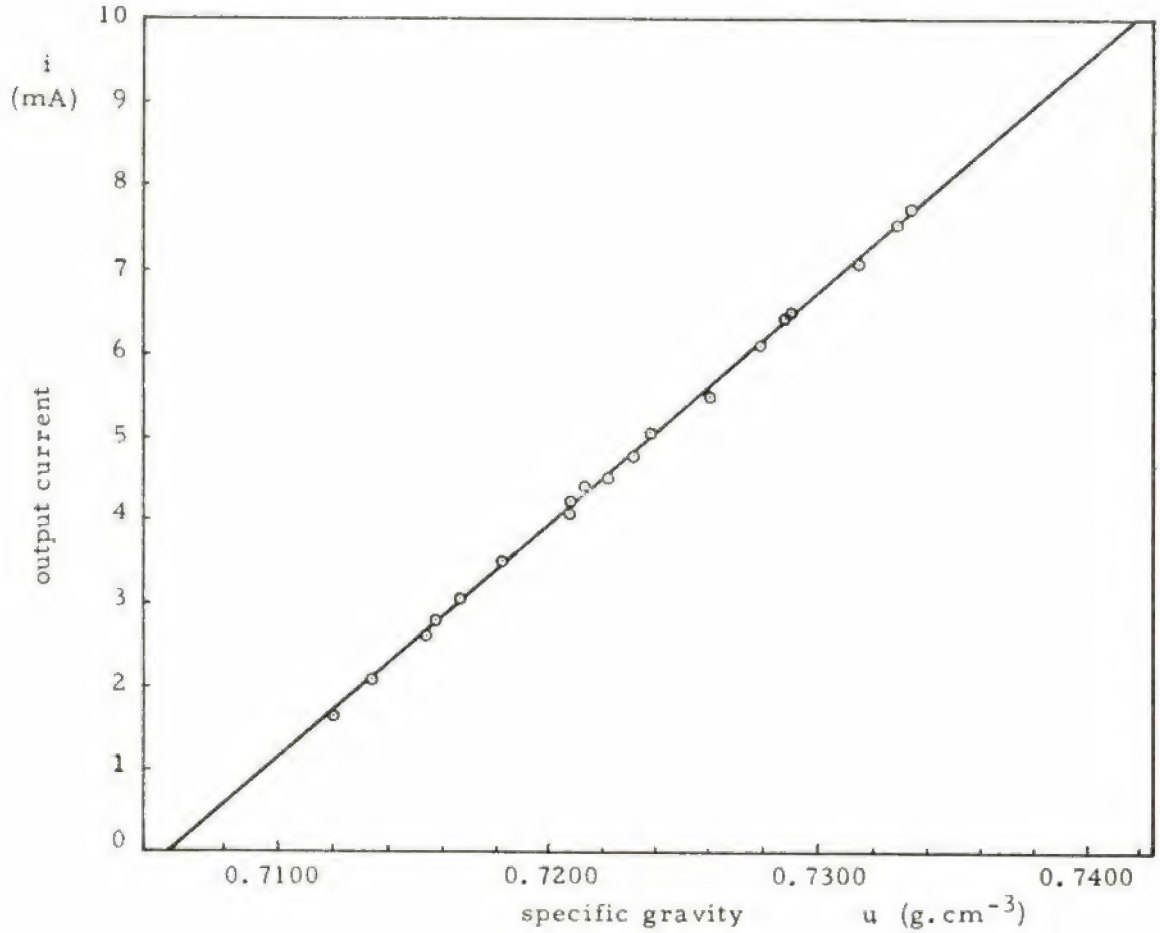


Diagrama I

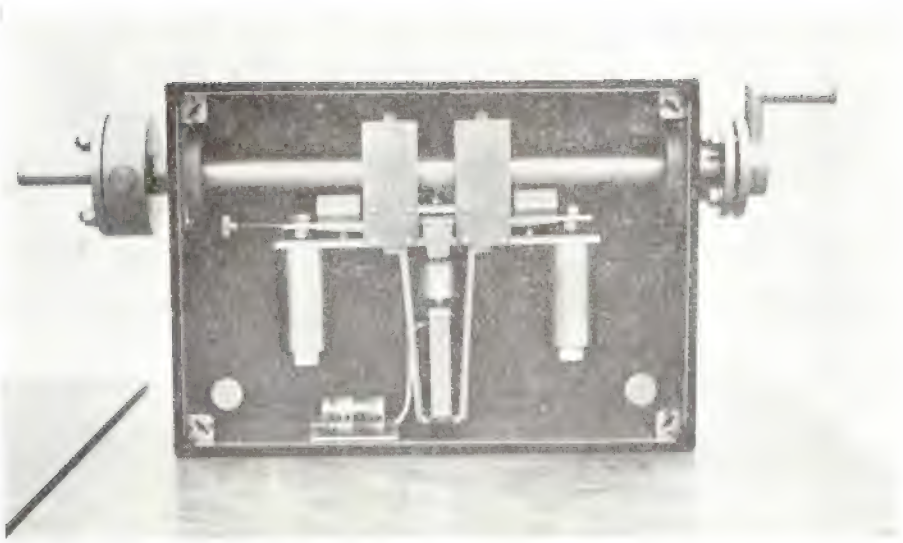


Fig. 7 — Primary element

Fig. 8 – Indicator, electronic set and primary element

5. CONCLUSIONS

The interesting features of this instrument are its simplicity and the quality of its output signal even in presence of strong disturbances, as for instance, pulsating flow. This results mainly from the particular geometry and position of the floater and from the fact that the density is transduced, without mechanical contact, into a force a variable which can then be easily transduced into an electrical or pneumatic signal, using well-known feedback techniques. The soundness of its working principle has been confirmed through the satisfactory behaviour of several instruments already in service, even of those which were not very carefully construted. It is therefore reasonable to foresee a promising future for this device.

MAGUE

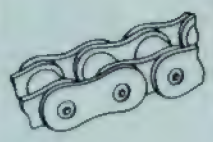
TERMINAL DE AÇÚCAR DO PORTO DE LOURENÇO MARQUES
Vista aérea

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

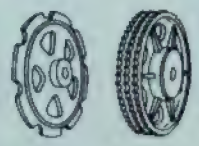
CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

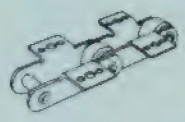
Mais de 1000 produtos RENOLD da maior organização mundial no fabrico de correntes de precisão



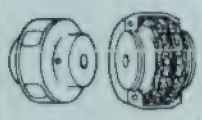
CORRENTES DE TRANSMISSÃO
De ¼" até 5" segundo as normas BS, DIN, AFNOR, ASA e API.



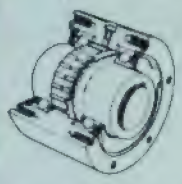
RODAS EM DEPOSITO
para uso com correntes RENOLD de transmissão e de transportadores.



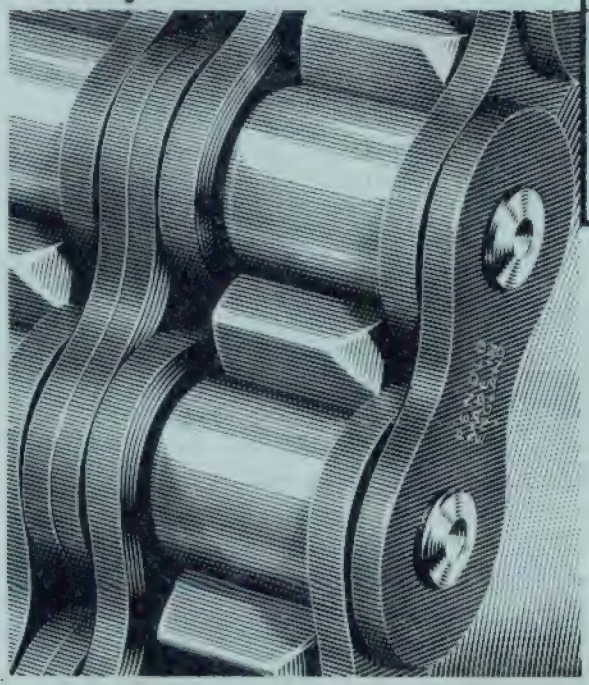
CORRENTES NORMAIS PARA TRANSPORTADOR
com adaptações para todos os fins. Gama 1.360 kg (3.000 libras) a 38.560 kg (85.000 libras).



UNIÕES DE ACOPLAMENTO
por Corrente, Cruzeta de Borracha e Disco Flexível até 2.500 CV.



EMBRAIAGENS
para rotação livre, movimento divisor e sem retrocesso.



Para informações ou fornecimentos, escreva, visite ou telefone:

HARKER, SUMNER & Ca., Lda.

PORTO: 38, Rua de Ceuta, 48
Apartado No. 162
Tel: 27054-P.P.C. (4 linhas)

LISBOA-2: 14, Largo do Corpo Santo, 18
Tel: 324823-35124

RENOLD LIMITED
MANCHESTER · INGLATERRA

C. D. U. 536.2.01

DA TEORIA DA FONTE MÓVEL NUM MEIO INFINITO

por A. M. R. MARRECAS
Assistente do IST
Bolseiro do IAC no NEEM

RESUMO

Utilizando a transformada de Laplace, generaliza-se, para o regime transiente, a expressão da distribuição de temperaturas originada num corpo infinito por uma fonte de calor móvel com velocidade constante.

SYNOPSIS

A solution for transient regime temperature distribution in an infinite solid heated by a constant velocity moving heat source is found by means of Laplace transform.

1 — *Introdução*

Resumem-se, em linhas gerais, aspectos do regime estacionário do fenómeno e apresenta-se, como exemplo de aplicação da transformada de Laplace — ferramenta das mais poderosas na análise teórica dos aspectos transientes dos fenómenos de condução de calor —, uma extensão ao estudo do regime transiente.

2 — *Modelo teórico*

Considera-se uma fonte pontual de calor (libertando uma quantidade de calor Q, na unidade de tempo, para $t > 0$) que se desloca a uma velocidade $\overline{V}$ constante (pressuposta de módulo bastante inferior ao da velocidade da luz), para $t > o$, um meio isótropo, infinito em todos os sentidos. Admite-se, mais, que o calor introduzido no meio, lhe não altera as propriedades térmicas, não originando, também, qualquer mudança de fase.

Associa-se ao meio um referencial fixo (O, x, y, z) é à fonte um referencial móvel $(O_R\, x_R\, y_R\, z_R)$ tais que

para	$t = o$	$O_R \equiv O$	$Ox \equiv Ox_R$	$Oy \equiv Oy_R$	$Oz \equiv Oz_R$
para	$t > o$		$Ox \equiv Ox_R$	$Oy \,//\, Oy_R$	$Oz \,//\, Oz_R$

2.1 — *Tratamento matemático*

O tratamento clássico, que, aliás, adoptaremos, visa a determinação do campo de temperaturas associado ao referencial móvel, o que exige a integração da equação do calor escrita em coordenadas deste referencial.

Por demais conhecida é a técnica de passagem do referencial fixo ao móvel [1], para velocidades muito inferiores à da luz, pelo que nos abstemos de a transcrever, partindo já da equação conveniente.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x_R^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y_R^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z_R^2} + \frac{V}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial x_R} = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} \tag{1}$$

α — difusidade térmica t — tempo T — temperatura

— Passaremos a substituir, x_R, y_R, z_R por x, y, z, respectivamente, uma vez que, beneficiando de uma maior simplicidade de escrita, se não prejudica o texto com qualquer ambiguidade.

2.1.1 — *Regime estacionário*

Postula-se, na análise deste, que suficiente tempo decorreu já a partir do instante de arranque $(t = 0^+)$, para que o campo de temperaturas tenha atingido o seu perfil de estacionaridade. Tal suposição equivale a admitir que se atingiu uma altura em que, em cada ponto (x, y, z), as flutuações de T com t são desprezáveis, ou seja, que $\frac{\partial T}{\partial t} \simeq o$.

A equação cuja integração se exige será, então

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{V}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial x} = o \tag{2}$$

Tratou, originalmente, este caso ROSENTHAL [1]. A solução obtida por este autor, através de um processo de integração artificioso, mas legítimo, reveste a forma

$$T = \frac{Q}{4\pi k r} e^{-\frac{V}{2\alpha}(x+r)} \tag{3}$$

k — condutividade térmica T — temp.ª (origem: o graus)

$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$

A contracção do conjunto de variáveis x, y, z para x, r justifica-se pela simetria axial do fenómeno.

2.1.2 — *Regime transiente*

2.1.2.1. — *Generalidades*

No que se disse até agora, uma lacuna subsiste: a maneira como evolui o campo de temperaturas, desde o instante inicial (temperatura nula uniforme) até ao regime dito estacionário atrás descrito. Pretende-se conhecer processos de «deformação» das isotérmicas no domínio de tempo em que $\frac{\partial T}{\partial t}$ apresenta, em cada ponto, valores não desprezáveis. Haverá, então, que integrar

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{V}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} \tag{4 *}$$

2.1.2.2 — *Integração de* (4)

1) Estabelecimento das condições fronteiras (no espaço e no tempo)

$$t = 0^+ \quad T = 0 \quad \text{em todo o domínio}$$

$$t \text{ qualquer } T \to 0 \quad \text{quando} \begin{cases} x \to \infty \\ r \to \end{cases}$$

2) Proposição da primitiva $T = e^{-\frac{V}{2\alpha}x} f(r,t) = e^{-\frac{V}{2\alpha}x} f(x,y,z,t)$

(4) degenera em

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} - \left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2 f = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial f}{\partial t} \tag{5}$$

3) Aplicação da transformada de Laplace em ordem ao tempo.
Tomando

$$\bar{f}(x,y,z,s) = \int_0^\infty f(x,y,z,t)\, e^{-st}\, dt = \bar{f},$$

(5) conduz a

$$\frac{\partial^2 \bar{f}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{f}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{f}}{\partial z^2} - \left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2 \bar{f} = \frac{s}{\alpha}\bar{f} - \frac{1}{\alpha} T(o^+, x, y, z) \tag{6}$$

(*) Zinsmeister e Dixon estudaram, pormenorizadamente, o problema, no caso do corpo infinito a uma dimensão, aplicando, também, a transformação de Laplace [2].

4) Introdução da condição inicial

$$T(o^+, x,y,z) = 0$$

$$\frac{\partial^2 \bar{f}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{f}}{\partial y^2} + \frac{\partial_2 \bar{f}}{\partial z^2} - \left[\left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2 + \frac{s}{\alpha}\right] \bar{f} = 0 \tag{7}$$

5) Mudança de coordenadas $\bar{f}(x,y,z,s) \rightarrow \bar{f}(r,s)$

(7) transforma-se em

$$\frac{d^2 \bar{f}}{d r^2} + \frac{2}{r} \frac{d f}{d r} - \left[\left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2 + \frac{s}{\alpha}\right] \bar{f} = 0 \tag{8}$$

6) Proposição da primitiva $\bar{f}(r,s) = \frac{g(r,s)}{r}$.

(8) origina

$$\frac{d^2 g}{d r^2} - \left[\left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2 + \frac{s}{\alpha}\right] g = 0 \tag{9}$$

7) Integração de (9)

$$g = C_1 e^{\sqrt{\frac{s}{\alpha} + \left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2}\, r} + C_2 e^{-\sqrt{\frac{s}{\alpha} + \left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2}\, r} \tag{10}$$

8) Introdução da segunda condição fronteira.

Posto que r é um infinitamente grande de ordem inferior a $e^{\sqrt{\frac{s}{\alpha} + \left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2}\, r}$ e deverá ser $\lim_{r \to \infty} T = 0$, somos levados a concluir que $C_1 = 0$ para que a condição seja satisfeita. Teremos, portanto

$$g = C_2 e^{-\sqrt{\left(\frac{S}{\alpha}\right) + \left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2}\, r} \tag{11}$$

9) Percorrendo, em sentido inverso, as alíneas anteriores e desfazendo as transformações da forma da função que nelas se operaram, chegamos a

$$\bar{T} = C_2 \frac{1}{r} e^{-\frac{V}{2\alpha} x} e^{-\sqrt{\left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2 + \frac{s}{\alpha}}\, r} \tag{12}$$

10) Quando $V = 0$, o regime há-de degenerar na solução para uma fonte parada, libertando a quantidade de calor Q por unidade de tempo

$$T = \frac{Q}{4 \pi k r} \operatorname{erfc} \frac{r}{\sqrt{4 \alpha t}} \tag{13}$$

que tem por transformada

$$\bar{T} = \frac{1}{s} e^{-\sqrt{\frac{s}{\alpha}}\, r} \frac{Q}{4 \pi k r}.$$

Então, será

$$C_2 \frac{1}{r} e^{-\sqrt{\frac{s}{\alpha}}\, r} = \frac{Q}{4 k \pi r} \cdot \frac{1}{s} \cdot e^{-\sqrt{\frac{s}{\alpha}}\, r}$$

11) $$\overline{T} = \frac{Q}{4k\pi r} \cdot \frac{1}{s} \cdot e^{-\frac{V}{2\alpha}x} \, e^{-\sqrt{\left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2 + \frac{s}{\alpha}}\, r} \tag{14}$$

12) Determinação da transformada inversa, em que está, apenas, interessado o grupo de factores

$$\frac{1}{s} e^{-\sqrt{\left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2 + \frac{s}{\alpha}}\, r}$$

$$\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{s} e^{-\sqrt{\left(\frac{V}{2\alpha}\right)^2 + \frac{s}{\alpha}}\, r}\right\} = \frac{1}{2}\left\{\exp\left[-\frac{V}{2\alpha} r\right] \cdot \operatorname{erfc}\left[\frac{r}{2\sqrt{\alpha t}} - \frac{V}{2}\sqrt{\frac{t}{\alpha}}\right] + \right.$$

$$\left. + \exp\left[\frac{V}{2\alpha} r\right] \operatorname{erfc}\left[\frac{r}{2\sqrt{\alpha t}} + \frac{V}{2}\sqrt{\frac{t}{\alpha}}\right]\right\} \tag{2}$$

13)

$$T = \frac{Q}{4k\pi} \frac{1}{r} \cdot e^{-\frac{V}{2\alpha}x} \frac{1}{2}\left\{e^{-\frac{V}{2\alpha}r} \operatorname{erfc}\left[\frac{r}{2\sqrt{\alpha t}} - \frac{V}{2}\sqrt{\frac{t}{\alpha}}\right] + e^{\frac{V}{2\alpha}r} \operatorname{erfc}\left[\frac{r}{2\sqrt{\alpha t}} + \frac{V}{2}\sqrt{\frac{t}{\alpha}}\right]\right\} \tag{15}$$

2.2 — *Notas finais*

1) A integração de (4) tem fortes pontos de contacto com a de (2), mostrando-se ainda, válidos muitos dos artifícios usados nesta.

2) (15) confirma as condições fronteiras impostas e satisfaz à equação às derivadas parciais de partida. Além disso, degenera na expressão do regime estacionário quando $t \to \infty$.

3) (3) e (15) encontram aplicação imediata em problemas de carácter tecnológico, dos quais se salienta a soldadura por arco eléctrico, fornecendo um modelo teórico razoàvelmente aceitável para o estudo da distribuição de temperaturas. A isto nos referiremos noutro artigo.

AGRADECIMENTO

— Ao Ex.mo Senhor Professor J. Delgado Domingos, pelo interesse com que acompanhou o presente trabalho.

— Ao Instituto de Alta Cultura, pela concessão de uma bolsa de estudo, que permitiu a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

[1] — J. J. D. Domingos, Caldeiras e Permutadores de Calor, AEIST, Lisboa.

[2] — Zinsmeister e Dixon, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 8, pp 1-6, 1965.

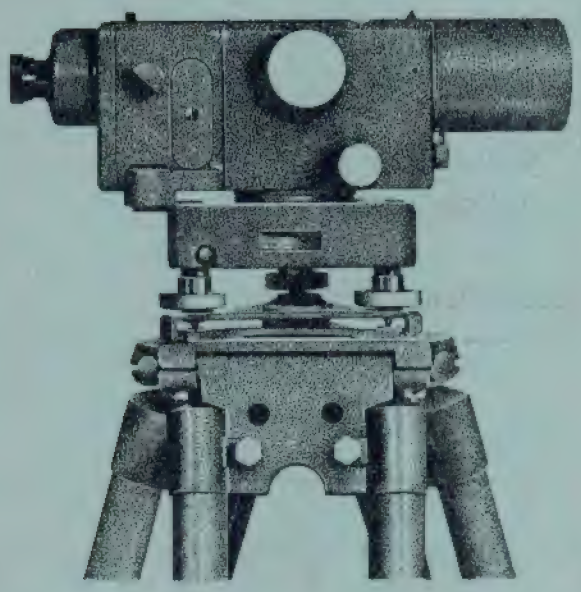
[3] — Van der Pol e Bremer, Operational Calculus based on the two-sided Laplace Integral, Cambridge University Press Cambridge, 1959.

[4] — Carlslaw e Jaeger, Conduction of Heat in Solids, Oxford, University Press, London, 1959.

O novo Nível automático de engenheiro

WILD NAK 2

com círculo horizontal



WILD
HEERBRUGG

Para nivelamentos de média e grande precisão; com micrómetro de lâmina de faces plano-paralelas para nivelamentos de grande precisão.

Erro médio para 1 Km de nivelamento duplo: ± 1,5 mm

Erro médio para 1 Km de nivelamento duplo com micrómetro: ± 0,4 mm

Luneta de 30 × de aumento com imagem direita de observação

Solicitem catálogo ou demonstração aos representantes exclusivos

WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8
LISBOA - 2 — TELEFONE 68 11 27

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 52093-52094
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

FELTROS, FILTROS E TECIDOS INDUSTRIAIS PARA TODOS OS FINS:

EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS,
DE QUALQUER FIBRA

PASTA PARA PAPEL
PAPEL
FIBROCIMENTO
CURTUMES
FIAÇÕES DE ALGODÃO
LINHAS
INDÚSTRIAS QUÍMICAS

TECELAGENS
ACABAMENTOS
TINTURARIAS
LAVANDARIAS
ESTAMPARIAS
FILTROS
DESPOEIRAGEM

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
R.S.Pedro de Alcântara, 1
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
Rua Serpa Pinto, 60
C.P.2178 - Tel.4226

MOÇAMBIQUE
L.Marques - C.P.982 - Tel.74 11 21
Beira - C.P. 1002 - Tel. 7 14 97

C. D. U. 621.316.13 : 512.972

REPRESENTAÇÃO TENSORIAL DO COMPORTAMENTO INCREMENTAL DE ELEMENTOS DE REDES ELÉCTRICAS. ALGUMAS APLICAÇÕES (*)

por CARLOS DE MEDEIROS PORTELA
Doutor em Engenharia Electrotécnica
Chefe do Centro de Cálculo da Companhia Nacional de Electricidade

RESUMO

Neste artigo introduz-se a ideia de definir por um método tensorial o comportamento incremental de elementos de redes eléctricas.

São definidos os tensores impedância e admitância incremental e são estabelecidas as relações fundamentais num circuito de elementos cujo comportamento é definido por tensores.

Indicam-se algumas aplicações dos métodos expostos na definição do comportamento incremental dos circuitos e apresenta-se um exemplo de aplicação à análise de variações de tensões.

Os conceitos de tensor impedância e admitância incremental mostraram-se muito cómodos e úteis, por exemplo em problemas de variações de tensão, variações de cargas, perdas e de comportamento de redes tendo em conta a actuação dos elementos de regulação.

SYNOPSIS

In this paper is introduced the idea of defining by a tensorial method the incremental behaviour of electric networks elements.

The impedance and admittance incremental tensors are defined, and are established the fundamental relations in a circuit of elements the behaviour of which is defined by tensors.

Some applications are indicated when defining the circuits incremental behaviour and an example of the application to the voltage variation analysis is shown.

The concepts of impedance and admittance incremental tensors were found very convenient and useful, for example on the problems of voltage variations, loads variations, losses, and networks behaviour considering the actuation of regulation elements.

0. INTRODUÇÃO

Neste artigo introduz-se a ideia de definir por um processo tensorial o comportamento incremental de elementos de redes eléctricas.

Há elevado número de problemas concretos no estudo de redes, designadamente tendo em conta a actuação dos sistemas de regulação, em que é necessário ou útil definir o comportamento da rede na vizinhança de uma situação conhecida, para analisar o efeito de uma pequena alteração de situação.

É em muitos casos inaplicável a hipótese de linearidade dos elementos do sistema.

Verificou-se ser em muitos casos possível e útil fazer uma análise do comportamento incremental considerando um primeiro termo linear desse comportamento, a sobrepor ao estado base anterior, hipótese bastante mais correcta que a suposição de linearidade do sistema ou outras hipóteses simplificativas correntes.

Na análise deste comportamento incremental não é em geral aplicável o conceito de impedância (ou admitância), como cociente entre os complexos representativos do acréscimo de tensão e do acréscimo de corrente, por essa impedância ser intrìnsecamente função da tensão incremental (ou da corrente, ou simultâneamente da tensão e corrente). No entanto, é em geral aplicável o conceito de tensor impedância (ou admitância) incremental, definidor da relação entre os vectores tensão e corrente incrementais.

(*) A matéria deste artigo foi objecto de uma comunicação ao Symposion sur l'Analyse et la Synthèse des Réseaux Electriques, realizado em Bucareste em Outubro de 1967, no qual o autor tomou parte a convite da Academia das Ciências da Roménia.

1. OS TENSORES IMPEDÂNCIA E ADMITÂNCIA INCREMENTAIS

1.1 — Definições [1]

Seja um dipolo, em regime alternado sinusoidal, caracterizado numa determinada situação de referência por uma tensão U_r e uma corrente I_r, sinusoidais, representadas, num determinado referencial, pelos correspondentes vectores, U e I, a duas dimensões a e b, de componentes U_a, U_b e I_a, I_b.

Consideremos uma situação vizinha deste dipolo caracterizada pela tensão $U = U_r + \Delta U$ e pela corrente $I = I_r + \Delta I$, sendo ΔU e ΔI «pequenos».

Defina-se o tensor impedância incremental, Z, por

$$\Delta U = Z . \Delta I$$

ou

$$\Delta U_a = Z_{aa} . \Delta I_a + Z_{ab} . \Delta I_b$$

$$\Delta U_b = Z_{ba} . \Delta I_a + Z_{bb} . \Delta I_b,$$

a menos termos de ordem superior.

Defina-se, anàlogamente, o tensor admitância incremental, Y, por

$$\Delta I = Y . \Delta U,$$

ou

$$\Delta I_a = Y_{aa} . \Delta U_a + Y_{ab} . \Delta U_b$$

$$\Delta I_b = Y_{ba} . \Delta U_a + Y_{bb} . \Delta U_b,$$

a menos termos de ordem superior.

Este tipo de representação engloba como caso particular a do comportamento incremental das máquinas rotativas, considerando comportamentos diferentes para efeito de grandezas longitudinais e transversais, e permite ter fàcilmente em conta diversas formas de regulação.

A título de exemplo, indica-se a seguir o valor destes tensores de comportamento incremental para dois tipos de comportamento de circuitos.

[1] Por simplicidade de notação, não se explicita o carácter covariante ou contravariante dos tensores utilizados. É imediato, no entanto, o estabelecimento de um conjunto coerente de definições de covariância e contravariância.

1.2 — Tensores impedância incremental e admitância incremental em circuitos em que são definidas elasticidades da potência activa e da potência reactiva em relação à tensão

Em muitos elementos de circuitos, são conhecidas, exacta ou aproximadamente, as elasticidades da potência activa e da potência reactiva em relação à tensão, i. e., na vizinhança de um estado tem-se [1]

$$\frac{\delta P}{\delta |U|} = \varepsilon$$

$$\frac{\delta Q}{\delta |U|} = \eta ,$$

sendo P e Q a potência activa e reactiva absorvidas pelo dipolo a cujos terminais está aplicada a tensão:

$$P = U_a I_a + U_b I_b$$

$$Q = U_b I_a - U_a I_b .$$

Sob outra forma, numa vizinhança suficientemente pequena da situação base, de referência, referenciada pelo índice r, a menos termos de ordem superior, tem-se

$$\frac{P}{P_r} = \left(\frac{|U|}{|U|_r} \right)^{\varepsilon} \cong 1 + \varepsilon \; \frac{|U| - |U|_r}{|U|_r} .$$

Designadamente, no caso de cargas correspondentes ao conjunto de uma rede de distribuicão, é em geral fácil obter, por determinações expeditas (variando a tensão aplicada), os valores de ε e η. Conhecendo o tipo de rede (proporção aproximada de carga de iluminação, industrial, etc.), é também em geral possível uma estimativa dos valores de ε e η.

Como é evidente, no caso particular de impedâncias lineares passivas, tem-se

[1] Representa-se por $\frac{\delta X}{\delta Y}$ a elasticidade de uma variável genérica X em relação a uma variável genérica Y. Representa-se por $|X|$ o módolo de um vector genérico X,

$$|X| = \sqrt{X_a^2 + X_b^2} .$$

$$\varepsilon = \eta = 2 .$$

Sendo

$$P = P_r + \Delta P$$

e

$$Q = Q_r + \Delta Q ,$$

tem-se

$$P_r = U_a I_a + U_b I_b$$

$$Q_r = U_b I_a - U_a I_b$$

$$\Delta P = U_a \Delta I_a + U_b \Delta I_b + I_a \Delta U_a + I_b \Delta U_b$$

$$\Delta Q = U_b \Delta I_a - U_a \Delta I_b + I_a \Delta U_b - I_b \Delta U_a .$$

Fazendo os cálculos, obtém-se, a menos termos de ordem superior:

$$Z_{aa} = \frac{1}{P^2(\varepsilon-1) + Q^2(\eta-1)} \cdot \left\{ U_a I_a \left[U_a^2 + U_b^2 (1+\varepsilon-\eta)\right] + U_b I_b \left[U_a^2 (\eta-1) + U_b^2 (\varepsilon-1)\right] \right\}$$

$$Z_{ab} = \frac{1}{P^2(\varepsilon-1) + Q^2(\eta-1)} \cdot \left\{ -U_b I_a \left[U_a^2 (\varepsilon-1) + U_b^2 (\eta-1\right] + U_a I_b \left[U_a^2 + U_b^2 (1-\varepsilon+\eta)\right] \right\}$$

$$Z_{ba} = \frac{1}{P^2(\varepsilon-1) + Q^2(\eta-1)} \cdot \left\{ U_b I_a \left[U_a^2 (1-\varepsilon+\eta) + U_b^2\right] - U_a I_b \left[U_a^2 (\eta-1) + U_b^2 (\varepsilon-1)\right] \right\}$$

$$Z_{bb} = \frac{1}{P^2(\varepsilon-1) + Q^2(\eta-1)} \cdot \left\{ U_a I_a \left[U_a^2 (\varepsilon-1) + U_b^2 (\eta-1)\right] + U_b I_b \left[U_a^2 (1+\varepsilon-\eta) + U_b^2\right] \right\}$$

$$Y_{aa} = \frac{1}{|U|^4} \cdot \left\{ U_a I_a \left[U_a^2 (\varepsilon-1) + U_b^2 (\eta-1)\right] + U_b I_b \left[U_a^2 (1+\varepsilon-\eta) + U_b^2\right] \right\}$$

$$Y_{ab} = \frac{1}{|U|^4} \cdot \left\{ U_b I_a \left[U_a^2 (\varepsilon-1) + U_b^2 (\eta-1)\right] - U_a I_b \left[U_a^2 + U_b^2 (1-\varepsilon+\eta)\right] \right\}$$

$$Y_{ba} = \frac{1}{|U|^4} \cdot \left\{ -U_b I_a \left[U_a^2 (1-\varepsilon+\eta) + U_b^2\right] + U_a I_b \left[U_a^2 (\eta-1) + U_b^2 (\varepsilon-1)\right] \right\}$$

$$Y_{bb} = \frac{1}{|U|^4} \cdot \left\{ U_a I_a \left[U_a^2 + U_b^2 (1+\varepsilon-\eta)\right] + U_b I_b \left[U_a^2 (\eta-1) + U_b (\varepsilon-1)\right] \right\}.$$

No caso particular de um sistema de eixos p, q, tal que p coincida com a direcção da tensão em condições base, vem:

$$Y_{pp} = \frac{I_p}{U_p} (\varepsilon - 1)$$

$$Y_{pq} = -\frac{I_q}{U_p}$$

$$Y_{qp} = \frac{I_q}{U_p} (\eta - 1)$$

$$Y_{qq} = \frac{I_p}{U_p} .$$

Isto é:

a) Para efeitos de tensão incremental perpendicular à tensão base, o tensor tem o mesmo efeito da admitância definida pelo cociente da corrente e tensão em condições base, em representação complexa.

b) Para efeitos de tensão incremental paralela à tensão base:

b.1) a admitância incremental na direcção da tensão base é igual ao valor correspondente à relação entre corrente e tensão em condições base multiplicada por (ε-1);

b.2) a admitância incremental na direcção ortogonal à da tensão base é igual ao valor correspondente à relação entre corrente e tensão em condições base multiplicada por (η-1).

A condição a) traduz o facto de, para efeitos de rotações da tensão, haver uma rotação igual da corrente sem variação de amplitude.

A condição b) traduz o facto de, para variação de amplitude da tensão, sem mudança de direcção, a componente activa da corrente ter uma variação relativa igual à variação relativa da ten-

são multiplicada por (ε-1) e a componente reactiva da corrente ter uma variação relativa igual à variação relativa da tensão multiplicada por (n-1).

1.3 — Tensor impedância incremental de um circuito caracterizado por tensão de amplitude constante e potência activa constante

No caso de um gerador com regulação ideal de tensão e potência activa, o módulo da tensão e a potência activa são constantes.

Fazendo os cálculos obtém-se:

$$Z_{aa} = -\frac{U_a\,U_b}{Q}$$

$$Z_{ab} = -\frac{U_b^2}{Q}$$

$$Z_{ba} = \frac{U_a^2}{Q}$$

$$Z_{bb} = \frac{U_a\,U_b}{Q}.$$

O determinante deste tensor impedância é nulo e não é possível definir um tensor admitância. Este facto resulta de, num circuito nestas condições, haver uma infinidade de hipóteses de variação de corrente que correspondem à mesma variação de tensão; a corrente define a tensão, mas a tensão não define a corrente.

2. RELAÇÕES FUNDAMENTAIS NUM CIRCUITO DE ELEMENTOS CUJO COMPORTAMENTO É DEFINIDO POR TENSORES

Consideremos um circuito, constituído por vários elementos, cujo comportamento em regime alternado sinusoidal seja traduzido por tensores impedância ou admitância incremental e por f.e.m., ligando os nós deste circuito, como representado na fig. 1, e consideremos correntes de circulação nas malhas, I_e.

Considerando para as f. e. m. e correntes as diferenças entre dois estados vizinhos, sendo ΔE_k a diferença entre as somas da f. e. m. na malha k nesses dois estados, tem-se:

$$Z_{11}\,\Delta I_1 + Z_{12}\,\Delta I_2 + \ldots + Z_{1m}\,\Delta I_m = \Delta E_1$$
$$Z_{21}\,\Delta I_1 + Z_{22}\,\Delta I_2 + \ldots + Z_{2m}\,\Delta I_m = \Delta E_2$$
$$\ldots$$
$$Z_{m1}\,\Delta I_1 + Z_{m2}\,\Delta I_2 + \ldots + Z_{m}\,\Delta I_m = \Delta E_m,$$

$\varepsilon_2 = \varepsilon'_2 + \varepsilon_3$

$z_{ii} = z'_{ii} + \sum_{j/i} z_{ij}$

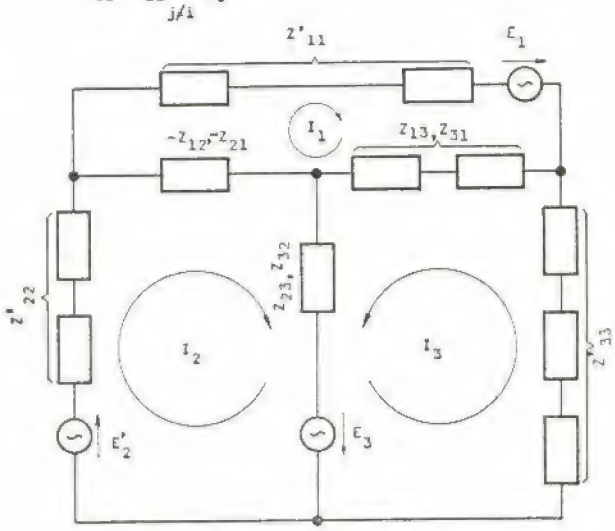


Fig. 1

sendo

Z_{ii} o tensor impedância incremental própria da malha i, soma dos tensores impedância incremental ao longo da malha i,

Z_{ij} o tensor impedância incremental mútua entre as malhas i e j, soma dos tensores impedância incremental nos troços comuns às malhas i e j, multiplicados por — 1 no caso de I_i e I_j terem sentidos contrários nesses troços.

Tem-se assim um sistema de m equações vectoriais a duas componentes, de coeficientes tensoriais, ou de 2 m equações escalares de coeficientes reais, sendo m o número de malhas, sistema de equações que, para uma variação de f. e. m. definida por ΔE_k, define as variações de corrente nas diferentes malhas, ΔI_h. Conhecidos os valores de ΔI_h, pode obter-se directamente qualquer tensão ou corrente incremental.

Ter-se-á

$$Z_{ij} = Z_{ji}\,,$$

sendo portanto simétrico o sistema de equações

de coeficientes tensoriais, embora não sendo em geral simétrico cada um dos coeficientes Z_{ij}; consequentemente, o sistema de 2 m equações escalares não é simétrico.

É possível generalizar os conceitos anteriores e considerar uma rede com elementos activos, em que o valor de uma grandeza da rede (por exemplo tensão, corrente ou combinação linear de tensões e correntes) vá influenciar de maneira não simétrica uma ou mais tensões ou correntes ou combinações lineares ([1]). A consideração de elementos deste tipo traduz-se, no sistema de equações, pela não verificação, com generalidade, da igualdade

$$Z_{ij} = Z_{ji}.$$

Àparte isso, no entanto, mantém-se o aspecto formal do sistema de equações, com alterações do significado dos coeficientes.

Consideremos agora uma formulação dual das relações do circuito, sendo U_k as tensões dos nós k do sistema em relação a um nó de referência (0), sendo Y_{ij} o tensor admitância incremental das ligações entre os nós i e j, sendo Y_{ii} a soma das admitâncias de todas as ligações entre o nó i e os restantes nós incluindo o nó 0, de referência, e sendo ΔI_k a variação de corrente exterior injectada no nó k (fig.2).

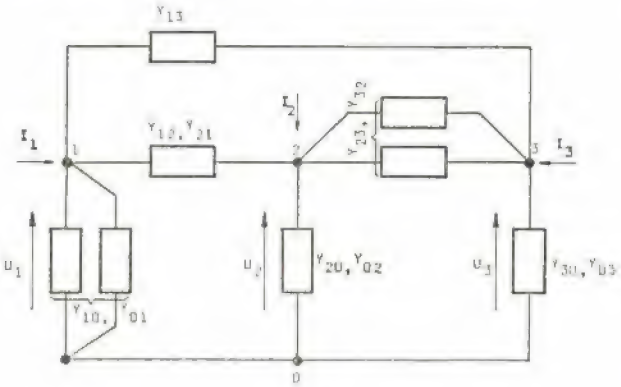


Fig. 2

Tem-se

$$Y_{11}\,\Delta U_1 - Y_{12}\,\Delta U_2 - \ldots - Y_{1n}\,\Delta U_n = \Delta I_1$$
$$-Y_{21}\,\Delta U_1 + Y_{22}\,\Delta U_2 - \ldots - Y_{2n}\,\Delta U_n = \Delta I_2$$
$$\ldots\ldots$$
$$-Y_{n1}\,\Delta U_1 - Y_{n2}\,\Delta U_2 - \ldots + Y_{nn}\,\Delta U_n = \Delta I_n,$$

ou seja, um sistema de n equações vectoriais de coeficientes tensoriais ou um sistema de 2 n equações escalares de coeficientes reais.

No caso de elementos passivos, será

$$Y_{ij} = Y_{ji}.$$

A consideração de elementos activos, actuando de maneira não simétrica, implica que esta última condição não seja satisfeita, mantendo-se no entanto o aspecto formal do sistema de equações, com alteração do significado dos coeficientes.

3. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS TENSORIAIS DE DEFINIÇÃO DE COMPORTAMENTO INCREMENTAL

Elaborou-se um conjunto de programas para ordenador digital que permitem:

a) Definir os tensores admitância e impedância incremental para várias hipóteses de comportamento dos circuitos, a partir das condições base.

b) Determinar as grandezas num circuito de elementos definidos por tensores admitância (ou impedância), por um método iterativo.

c) Reduzir um circuito de n nós a um circuito de menos nós.

d) Determinar as grandezas por um processo de eliminação.

e) Obter a matriz inversa do sistema de equações de admitâncias ou impedâncias e consequentemente determinar:

— a matriz das admitâncias de transferência $\overset{*}{Y}_{jk}$ entre a f. e. m. na malha k e a corrente na malha j;

— a matriz das impedâncias de transferência $\overset{*}{Z}_{jk}$ entre a corrente no nó k e a tensão no nó j.

f) Determinar as grandezas que interessam para diversas aplicações, por exemplo, os acréscimos de perdas e as variações de tensão (referidas às tensões base), para uma determinada variação de correntes ou tensões aplicadas a alguns nós.

Estes métodos e programas podem, òbviamente, ser utilizados para representar circuitos com elementos representados por tensores (independentemente terem ou não o significado incremental) e, em particular, para representar elementos cor-

([1]) Para efeitos incrementais, a potência activa e reactiva e grandezas semelhantes podem ser consideradas combinações lineares de tensões e correntes ou das respectivas componentes.

respondentes a impedâncias no sentido normal, caso em que

$$Z_{bb} = Z_{aa}$$

$$Z_{ba} = -Z_{ab}$$

$$Y_{bb} = Y_{aa}$$

$$Y_{ba} = -Y_{ab}.$$

A utilização destes métodos e programas mostrou-se útil e cómoda no estudo do comportamento de redes, designadamente em problemas de perdas e de perturbações e variações de tensão.

Verificou-se, por outro lado, que os resultados obtidos em alguns casos são apreciàvelmente diferentes dos resultados obtidos com alguns métodos correntes, por exemplo representando os circuitos por impedâncias constantes, sendo portanto necessário, nesses casos, a adopção de métodos diferentes, do tipo dos descritos aqui.

Para o cálculo iterativo, considerou-se como base, um processo de iterações nodais, do tipo Gauss Seidel.

Considere-se a equação

$$-Y_{1j}\,\Delta U_1 - Y_{2j}\,\Delta U_2 - \ldots + \\ + Y_{jj}\,\Delta U_j - \ldots - Y_{nj}\,\Delta U_n = \Delta I_j,$$

donde, sendo Y_{jj}^{-1} o inverso de Y_{jj},

$$\Delta U_j = Y_{jj}^{-1}\left(\Delta I_j + \sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{n} Y_{ij}\,\Delta U_j\right).$$

Numa dada iteração, é calculado, por meio da relação anterior, o valor $\Delta U_{j,1}$ a partir dos valores de ΔU nos restantes nós. Sendo $\Delta U_{j,o}$ o valor anterior de ΔU_j, é dado a ΔU_j um novo valor,

$$\Delta U_j = \Delta U_{j,o} + \alpha\,.\,(\Delta U_{j,1} - \Delta U_{j,o}\,,$$

sendo α a um factor de aceleração de convergência (nalguns casos substituído por um tensor de segunda ordem).

Na maior parte dos casos, escolhendo experimentalmente, para cada tipo de rede, o factor α (alterável no decorrer do cálculo), obteve-se uma convergência bastante rápida, com uma redução na proporção aproximada de 1 : 0,7 do maior dos módulos das diferenças entre valores ΔU_j em duas iterações consecutivas.

Nalguns casos, no entanto, não se conseguiu convergência rápida, ou mesmo convergência, com um único valor de α, sendo necessários processos mais elaborados e menos cómodos, por exemplo a consideração de valores diferentes para os vários nós, ou a utilização de processos de eliminação, ou a resolução directa do sistema de equações.

Nalguns casos particulares, para alguns elementos do circuito é possível definir um tensor impedância incremental, mas não é possível definir um tensor admitância incremental (por o determinante do tensor impedância incremental ser nulo). Nestes casos é possível a resolução do circuito a partir de equações de admitância, considerando um nó fictício adicional (ou deslocando elèctricamente, de maneira fictícia, um dos nós do circuito), de maneira a considerar admitâncias de ligação entre todos os nós figurados no cálculo.

Nos métodos de eliminação, utilizou-se a generalização dos processos normais de eliminação de nós em circuitos definidos por impedâncias ou admitâncias complexas.

Nos métodos de resolução directa de sistemas de equações, utilizou-se um processo de eliminação sucessiva com escolha da variável a eliminar.

4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO AO CÁLCULO DE VARIAÇÕES DE TENSÃO NUMA REDE

Como ilustração da aplicação dos tensores de comportamento incremental, considerou se um exemplo relativo ao cálculo de perturbações de tensão numa rede. Este exemplo é semelhante a um caso concreto estudado, mas foi propositadamente simplificado para fazer ressaltar alguns aspectos essenciais do comportamento da rede. A topologia base deste exemplo é definida na fig. 3.

Essencialmente, pretende-se analisar o efeito nas tensões de correntes de perturbação numa zona industrial, com cargas sujeitas a variações bruscas importantes.

Consideraram-se correntes de perturbações supostas injectadas nos nós 4 e 5 e analisaram-se as perturbações de tensão correspondentes, na direcção da tensão anterior e na direcção ortogonal. Fizeram-se várias hipóteses sobre o comportamento incremental dos elementos da rede, no sentido de averiguar a influência dessas hipó-

teses no resultado, e em que medida e com que rigor é necessário conhecer e representar o comportamento dos elementos da rede.

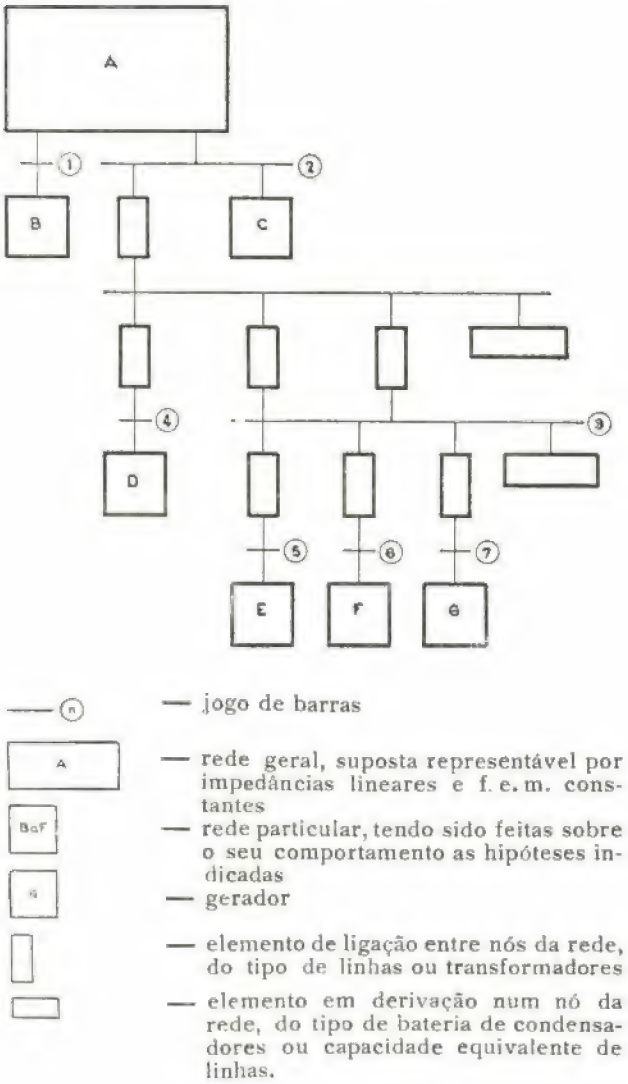


Fig. 3

A título ilustrativo, apresenta-se, nos quadros 1 a 4 um extracto dos resultados em que se indicam, em unidades base ([1]), a variação de tensão em diversos pontos, no sentido da tensão anterior nesses pontos (ΔU_p) e em sentido ortogonal (ΔU_q), para perturbações de corrente de derterminada amplitude no ponto 4 (quadros 1 e 2) ou no ponto 5 (quadros 3 e 4), na direcção da tensão no ponto onde se dá a perturbação de corrente (quadros 1 e 3) e em direcção ortogonal (quadros 2 e 4).

Consideram-se em alternativa:

a) para os circuitos B, C, D, E e F:

a.1) representação por admitância incremental igual a F vezes a admitância média, definida pelo cociente (complexo) da corrente pela tensão (em representação complexa) em condições base, tendo F, em alternativa, os valores 1; 0; —0,5; —1;

a.2) representação por tensor admitância ou impedância incremental correspondente a elasticidade de potência activa ε e de potência reactiva η em relação ao módulo da tensão, supondo $\varepsilon = \eta$ e em alternativa igual a 2; 1; 0,5; 0;

b) para o circuito G:

b.1) comportamento análogo ao dos circuitos B a F;

b.2) comportamento correspondente a potência activa e módulo da tensão constante (hipótese representativa de um gerador com regulação de tensão e de potência a valores constantes).

Tem-se assim, para cada quadro, um conjunto de 16 hipóteses, referenciadas de 1 a 16.

A comparação dos valores situados numa mesma coluna de cada quadro indica a diferença entre os resultados para as diferentes hipóteses.

Convém notar que a hipótese 12 corresponde, mercê das condições particulares dos parâmetros e da topologia da rede, à vizinhança de uma situação tipo «ressonância», o que explica os grandes valores de perturbação, o mesmo sucedendo, embora menos acentuadamente, na hipótese 16.

Verifica-se que, mesmo abstraindo das hipóteses 12 e 16, as características particulares dos elementos da rede e o método de representação têm enorme influência no resultado.

Sem pretender estabelecer regras universais num domínio em que as situações podem variar muito de um caso a outro, pode concluir-se que:

a) Naqueles casos, que podem considerar-se normais, em que as cargas tenham valores

([1]) Interessa sòmente, para o efeito deste artigo, a comparação entre pontos ou hipóteses diferentes e não o valor absoluto das grandezas.

de ε e η apreciàvelmente diferentes de 2, e ou em que nas cargas ou complexos industriais haja proporção apreciável de máquinas rotativas, é em geral necessário, para obter resultados válidos no cálculo de quedas de tensão correspondentes a perturbação de carga, conhecer e representar com alguma aproximação o comportamento incremental das cargas e máquinas e a actuação dos elementos de regulação.

b) A representação de elementos do circuito por admitâncias ou impendâncias incrementais (em sentido complexo) mesmo que corrigidas por um factor F, não é em geral e sob vários aspectos, satisfatòriamente correcta.

c) Na medida em que, para efeitos de comportamento incremental e variações de tensão no sentido da tensão anterior, os diferentes elementos dominantes tenham carácter aproximadamente indutivo, isto é, os acréscimos de tensão e corrente nesses elementos estejam aproximadamente em quadratura, as variações de tensão na direcção da tensão anterior, associadas a variações de corrente em quadratura com essa tensão, podem ser estimadas, em primeira aproximação, representando os elementos com elasticidade ε da potência activa e η da potência reactiva em relação ao módulo da tensão por admitâncias incrementais (em sentido complexo) de componentes activa e reactiva iguais aos valores correspondentes à situação base multiplicados respectivamente por $\varepsilon - 1$ e $\eta - 1$.

É difícil, no entanto, estabelecer «a priori», no caso de redes reais relativamente complexas, em que medida esta hipótese pode ser aplicada e prever a ordem de grandeza do erro cometido.

d) A utilização dos tensores admitância ou impedância incremental permite, com grande facilidade, representar o comportamento correcto das redes, para pequenas perturbações.

5. CONCLUSÃO

Dos trabalhos efectuados no domínio dos assuntos tratados neste artigo, conclui-se designadamente que:

a) Os conceitos de tensor impedância e admitância incrementais são bastante cómodos e úteis no estudo de problemas de redes eléctricas, por exemplo no estudo de questões de variações de tensão, variações de cargas, de perdas e de comportamento de redes tendo em conta o funcionamento de elementos de regulação. Estes conceitos constituem uma forma bastante simples de ter em conta efeitos e actuações que, doutra forma, na representação global de uma rede, é difícil ou laborioso considerar de maneira satisfatória.

b) A representação tensorial de elementos de rede e os programas correspondentes elaborados, quer para aplicação e estudos de comportamento incremental quer para outras aplicações, afiguram-se bastante úteis e cómodos no estudo de redes eléctricas.

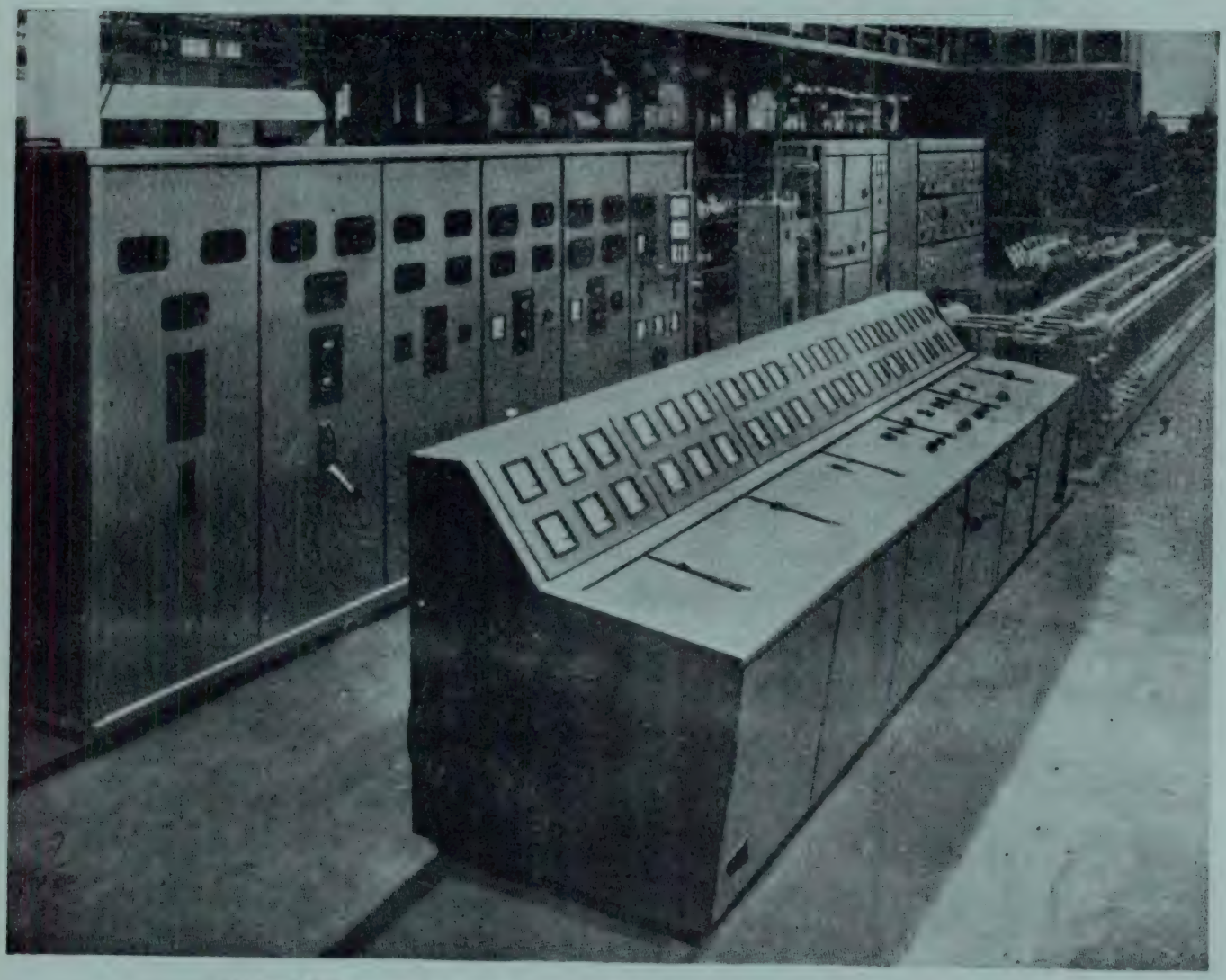
JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO
Praça da Batalha, 12
Telef. 2 28 12 (PPC)

LISBOA
Rua dos Correeiros, 14
Telef. 32 70 35 (PPC)

LUANDA
Cx. Postal 5174
Telef. 4743

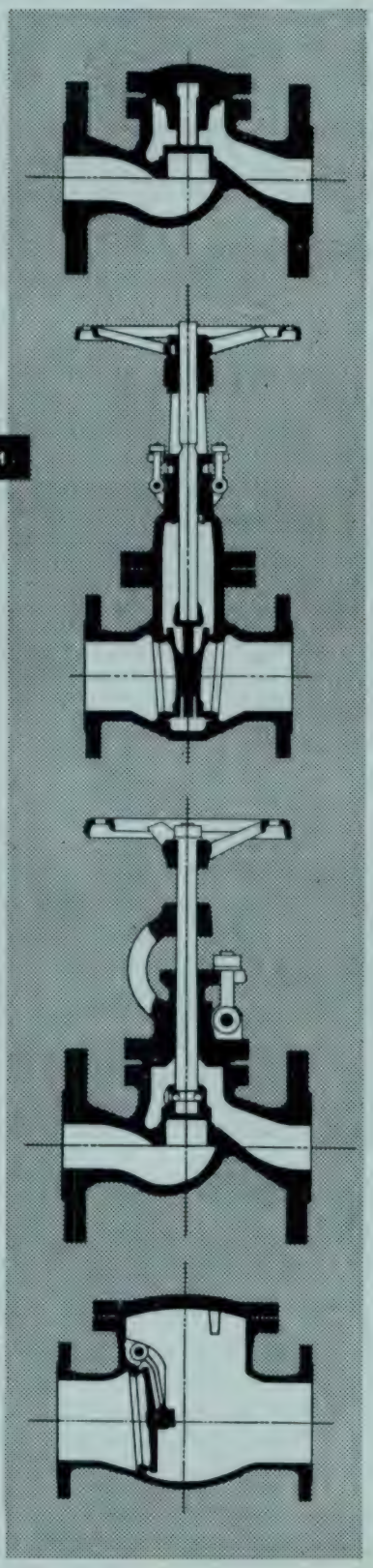


Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição

- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

válvulas

- passagem
- retenção
- regulação
- cunha



PARA LÍQUIDOS, VAPORES E GASES (INCLUINDO NH_3 E SO_2) EM

ferro fundido
ferro fundido com grafite esferoidal
aço vasado
aço inoxidável

DN 10 mm até 600 mm **PN 6 a 40 kg/cm²**

conforme as normas **DIN** e **ASA**

VÁLVULAS DE SEGURANÇA, DE REDUÇÃO, ELECTROMAGNÉTICAS E VÁLVULAS ESPECIAIS

- estudos
- projectos
- orçamentos
- assistência técnica

FENAL

SOCIEDADE PORTUGUESA DE VÁLVULAS, LDA.

SEDE: Rua Academia das Ciências, 5 - Telef. 32 00 11 (8 linhas) - Lisboa

FILIAL: Praça D. João I, 5-2º - Telef. 2 47 71 - Porto

QUADRO 1

Referência	Tipo de representação dos circuitos B, C, D, E, F	Tipo de representação do circuito G	$\varepsilon = \eta$	F	Variação de tensão no nó n, ΔU_p na direcção da tensão base e ΔU_q na direcção ortogonal, para uma corrente incremental «unitária» no nó 4 na direcção da tensão base no nó 4									
					n = 1		n = 2		n = 3		n = 4		n = 5	
					ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q
1	Circuitos de admitância incremental igual a F vezes a admitância média em condições base	Circuito de admitância incremental igual a F vezes a admitância média em condições base		1	0,819	0,859	1,012	1,336	1,235	1,758	1,509	6,340	1,163	1,653
2				0	0,174	2,365	0,575	2,820	0,626	3,416	0,438	8,358	0,369	3,454
3				-0,5	-1,546	2,450	-0,960	3,114	-1,103	3,719	-1,573	8,757	-1,572	3,674
4				-1	-2,412	0,951	-1,925	1,965	-2,177	2,432	-2,874	7,545	-2,688	2,179
5		Circuito de P e |U| constantes		1	0,677	0,947	0,857	1,446	0,627	1,850	1,248	6,452	0,590	1,740
6				0	-0,009	2,453	0,367	2,953	0,177	3,661	0,184	8,498	0,097	3,664
7				-0,5	-1,478	2,734	-0,804	3,403	-0,727	4,241	-1,409	9,110	-1,249	4,252
8				-1	-2,396	1,474	-1,683	2,464	-1,366	3,209	-2,609	8,160	-1,970	3,128
9	Circuitos com elasticidades de P e Q em relação a |U| respectivamente ε e η	Circuito com elasticidade de P e Q em relação a |U| respectivamente ε e η	2		0,819	0,859	1,072	1,335	1,235	1,758	1,509	6,340	1,163	1,653
10			1		1,792	1,415	1,982	1,759	2,238	2,239	2,550	6,932	2,246	2,264
11			0,5		3,917	2,646	3,926	2,658	4,378	3,264	4,708	8,120	4,543	3,551
12			0		39,443	-22,621	-35,399	15,482	38,841	17,421	38,449	15,345	41,717	22,272
13		Circuito de P e |U| constantes	2		0,677	0,947	0,857	1,446	0,627	1,850	1,248	6,452	0,590	1,740
14			1		1,300	1,405	1,391	1,820	1,002	2,276	1,852	6,953	1,007	2,212
15			0,5		2,246	2,104	2,178	2,368	1,551	2,893	2,704	7,646	1,610	2,892
16			0		6,953	5,598	6,040	5,045	4,225	5,890	6,797	10,942	4,541	6,181

QUADRO 2

Referência	Tipo de representação dos circuitos B, C, D, E, F	Tipo de representação do circuito G	$\varepsilon = \eta$	F	Variações de tensão no nó n, ΔU_p na direcção da tensão base e ΔU_q na direcção ortogonal, para uma corrente incremental «unitária» no nó 4 na direcção ortogonal à tensão base no nó 4									
					n = 1		n = 2		n = 3		n = 4		n = 5	
					ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q
1	Circuitos de admitância incremental igual a F vezes a admitância média em condições base	Circuito de admitância incremental igual a F vezes a admitância média em condições base		1	-0,859	0,819	-1,336	1,072	-1,758	1,235	-6,340	1,509	-1,653	1,163
2				0	-2,365	0,174	-2,820	0,575	-3,416	0,626	-8,358	0,438	-3,454	0,369
3				-0,5	-2,450	-1,546	-3,114	-0,960	-3,719	-1,103	-8,757	-1,573	-3,674	-1,572
4				-1	-0,951	-2,412	-1,965	-1,925	-2,432	-2,177	-7,545	-2,874	-2,179	-2,688
5		Circuito de P e |U| constantes		1	-0,657	0,694	-1,030	0,917	-0,893	1,103	-5,969	1,351	-0,839	1,038
6				0	-1,626	0,215	-1,924	0,510	-1,556	0,630	-7,301	0,438	-1,599	0,512
7				-0,5	-1,654	-1,007	-2,091	-0,608	-1,643	-0,679	-7,574	-1,083	-1,600	-0,890
8				-1	-0,648	-1,849	-1,428	-1,511	-1,123	-1,770	-6,920	-2,346	-0,877	-2,041
9	Circuitos com elasticidades de P e Q em relação a |U| respectivamente ε e η	Circuito com elasticidade de P e Q em relação a |U| respectivamente ε e η	2		-0,859	0,819	-1,336	1,072	-1,758	1,235	-6,340	1,509	1,653	1,163
10			1		-2,213	0,098	-2,675	0,482	-3,267	0,537	-8,177	0,335	-3,276	0,275
11			0,5		-5,243	-1,628	-5,493	-0,804	-6,390	-0,946	-11,479	-1,561	-6,628	-1,590
12			0		57,270	34,837	51,153	25,343	35,839	28,851	50,496	32,050	39,976	35,601
13		Circuito de P e |U| constantes	2		-0,657	0,694	-1,030	0,917	-0,893	1,103	-5,969	1,351	-0,839	1,038
14			1		-1,495	0,113	-1,813	0,393	-1,464	0,483	-7,159	0,305	-1,468	0,351
15			0,5		-2,806	-0,837	-2,943	-0,381	-2,265	-0,404	-8,556	-0,869	-2,349	-0,629
16			0		-6,953	-5,598	-6,040	-5,045	-4,225	-5,890	-6,797	-10,942	-4,541	-6,181

QUADRO 3

Referência	Tipo de representação dos circuitos B, C, D, E, F	Tipo de representação do circuito G	$\varepsilon = \eta$	F	Variações de tensão no nó n, ΔU_p na direcção da tensão base e ΔU_q na direcção ortogonal, para uma corrente incremental «unitária» no nó 5 na direcção da tensão base no nó 5									
					n = 1		n = 2		n = 3		n = 4		n = 5	
					ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q
1	Circuitos de admitância incremental igual a F vezes a admitância média em condições base	Circuito de admitância incremental igual a F vezes a admitância média em condições base		1	0,863	0,820	1,139	1,287	1,735	4,023	1,238	1,597	2,343	13,163
2				0	0,235	2,421	0,656	2,878	0,915	6,045	0,529	3,430	0,461	16,095
3				-0,5	-1,594	2,541	-0,985	3,227	-1,098	6,520	-1,400	3,743	-2,325	16,831
4				-1	-2,538	0,932	-2,055	2,001	-2,486	5,242	-2,584	2,302	-4,384	15,628
5		Circuito de P e |U| constantes		1	0,663	0,944	0,837	1,440	0,880	4,154	0,871	1,754	1,538	13,286
6				0	-0,047	2,577	0,340	3,109	0,227	6,476	0,139	3,679	-0,257	16,473
7				-0,5	-1,645	2,910	-0,932	3,643	-0,890	7,314	-1,367	4,238	-2,206	17,669
8				-1	-2,663	1,541	-1,913	2,644	-1,764	6,361	-2,447	3,084	-3,817	16,921
9	Circuitos com elasticidades de P e Q em relação a U respectivamente ε e η	Circuito com elasticidade de P e Q em relação a |U| respectivamente ε e η	2		0,863	0,820	1,139	1,287	1,735	4,023	1,238	1,597	2,343	13,163
10			1		1,909	1,413	2,122	1,738	2,846	4,560	2,338	2,202	3,612	13,923
11			0,5		4,201	2,738	4,223	2,707	5,177	5,679	4,659	3,469	6,153	15,373
12			0		42,692	-24,593	-38,303	-16,912	-41,539	-16,677	-42,023	-21,926	-43,805	-12,847
13		Circuito de P e |U| constantes	2		0,663	0,944	0,837	1,440	0,880	4,154	0,871	1,754	1,538	13,286
14			1		1,283	1,400	1,370	1,816	1,274	4,607	1,450	2,229	2,035	13,857
15			0,5		2,225	2,097	2,157	2,364	1,833	5,240	2,289	2,908	2,685	14,593
16			0		6,926	5,586	6,016	5,040	4,518	8,253	6,365	6,187	5,665	17,943

QUADRO 4

Referência	Tipo de representação dos circuitos B, C, D, E, F,	Tipo de representação do circuito G	$\varepsilon = \eta$	F	Variações de tensão no nó n, ΔU_p na direcção da tensão base e ΔU_q na direcção ortogonal, para uma corrente incremental «unitária» no nó 5 na direcção ortogonal à tensão base no nó 5									
					n = 1		n = 2		n = 3		n = 4		n = 5	
					ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q	ΔU_p	ΔU_q
1	Circuitos de admitância incremental igual a F vezes a admitância média em condições base	Circuito de admitância incremental igual a F vezes a admitância média em condições base		1	0,820	-0,863	1,287	-1,139	4,023	-1,736	1,597	-1,238	13,163	-2,343
2				0	2,421	-0,235	2,878	-0,656	6,045	-0,915	3,433	-0,529	16,895	-0,461
3				-0,5	2,541	1,594	3,227	0,985	6,520	1,098	3,743	1,400	16,831	2,325
4				-1	0,932	2,538	2,001	2,055	5,242	2,486	2,303	2,584	15,628	4,384
5		Circuito de P e |U| constantes		1	0,358	-0,576	0,586	-0,784	2,043	-1,433	0,747	-0,875	11,301	-2,057
6				0	1,109	-0,303	1,290	-0,536	2,745	-0,909	1,560	-0,521	12,808	-0,701
7				-5,0	1,180	0,623	1,468	0,331	2,929	0,272	1,707	0,498	13,255	1,052
8				-1	0,408	1,315	0,964	1,097	2,601	1,401	1,103	1,374	13,047	2,804
9	Circuitos com elasticidades de P e Q em relação a |U| respectivamente ε e η	Circuito com elasticidade de P e Q em relação a |U| respectivamente ε e η	2		0,820	-0,863	1,287	-1,139	4,023	-1,736	1,597	-1,238	13,163	-2,343
10			1		2,231	-0,141	2,702	0,547	5,872	-0,818	3,214	-0,409	15,887	0,356
11			0,5		5,450	1,672	5,711	0,806	9,360	0,875	6,562	1,385	20,048	2,239
12			0		61,519	-37,417	-54,947	-27,217	-57,104	-30,909	-59,994	-34,855	-50,628	-26,920
13		Circuito de P e |U| constantes	2		0,358	-0,576	0,586	-0,784	2,043	-1,433	0,747	-0,875	11,301	-2,057
14			1		0,941	-0,169	1,153	-0,388	2,632	-0,720	1,385	-0,354	12,638	-0,492
15			0,5		1,879	0,513	1,978	0,186	3,317	0,082	2,281	0,372	13,781	0,830
16			0		6,697	4,073	5,981	2,963	6,216	3,365	6,531	3,794	17,383	4,915

A Indústria exige **BOSCH**

CALIBRES E INSTRUMENTOS
DE MEDIDA
DE ALTA PRECISÃO

calibres de tolerância ✻ calibres de rosca ✻ réguas de controle ✻ micrómetros de profundidade e de alta precisão ✻ craveiras ✻ comparadores horizontais, verticais e de esfera ✻ rugómetros ✻ microdurómetros ✻ interferoscópios, etc.

ROBERT BOSCH (PORTUGAL), LDA. LISBOA - PORTO ASSISTÊNCIA TÉCNICA EM TODO O PAÍS

PPC DE HOTEL

TELEFONBAU UND NORMALZEIT

Os P. P. C. da Telefonbau são fabricados em 3 modelos com capacidades de 30 a 200 extensões e permitem a ligação de serviços especiais para a indústria hoteleira, nomeadamente serviço de despertar automático, chamada de criados, bloqueamento da linha de rede, inter-ligação com central automática privativa.

ELECTROTECNICOS REUNIDOS Lda.

Av. duque d'avila, 66-3° telef. 41161/5 LISBOA

C. D. U. 69.002.22

CONSTRUÇÃO CIVIL INDUSTRIALIZADA

por J. S. BRASÃO FARINHA
Eng.º Civil

RESUMO

Considerações sobre os processos tradicionais de construção civil e sua evolução para se adaptarem às diferentes condições económicas. Novos processos, dentro da técnica industrializada, e revisão dos métodos de trabalho, de organização das empresas de construção, e da própria concepção dos projectos, para se poder corresponder às necessidades da industrialização.

SYNOPSIS

Considerations on the traditional building procedure and its evolution as to adapt to the different economic conditions.

New procedure, inside the industrialized technique, and revision of working methods, building concerns organisation, and the conception of projects, as to correspond to the industrialization requirements.

1 — Por «construção civil» designamos a actividade humana relacionada com a construção de edifícios, sejam destinados a habitação ou a actividades colectivas como hotéis, escolas, hospitais, etc.

A construção civil tem mantido, na sua generalidade, uma actuação de tipo «artezanal», uma vez que trabalha por encomenda, executa sempre modelos diferentes utilizando muita mão-de-obra e recorrendo pouco à energia mecânica. Várias razões concorreram, no passado, para essa situação, o carácter regional das organizações ligadas ao emprego dos materiais existentes no local, com utilização de mão-de-obra abundante, que fazia a sua aprendizagem segundo métodos tradicionais que exigiam uma longa prática e que eram transmitidos de geração em geração; os projectistas, trabalhando isoladamente, sem continuidade e sem possibilidade de beneficiar da divisão do trabalho; os industriais desinteressados em aperfeiçoar as técnicas que utilizavam e, naturalmente, receosos em tentar aplicações vultuosas de capitais, face às incertezas dos mercados; os serviços públicos, actuando muitas vezes com mentalidade ultrapassada e com falta de dinamismo; a opinião pública, particularmente respeitosa pelos processos já consagrados, tolerante em relação aos defeitos, e defensora das virtudes da construção civil tradicional, etc.

Nesta fase a actuação dos projectistas era muito reduzida, limitava-se aos elementos gerais do projecto e a indicações que iam dando aos construtores, à medida das necessidades.

2 — A situação atrás referida foi modificada com a industrialização dos transportes (ferroviários e por estrada), que tornou técnica e económicamente possível o intercâmbio de materiais de construção civil entre as diversas regiões, destruindo o equilíbrio de interesses anteriormente existente.

Isso tornou possível, nomeadamente, a generalização do emprego do cimento e a utilização, cada vez maior, do betão armado. Esta utilização foi também o resultado da criação de métodos industrializados para o fabrico, transporte e colocação deste último material, que permitiram passar a alcançar, sistemàticamente, e empregando pouca mão-de-obra, prazos de execução e preços inferiores aos anteriormente conseguidos com a utilização da alvenaria de pedra. Com efeito, a extracção, o transporte e a colocação deste material em obra, exige larga aplicação de mão-de-obra especializada.

Tornou ainda possível o desenvolvimento da préfabricação ligeira, que pôs à disposição dos construtores certos elementos de série como a estrutura de pavimentos de edifícios, asnas e cascas para coberturas, serralharias diversas, portas e janelas de determinados tipos, etc.

Esta situação, aliada à maior complexidade das obras devido ao maior número de instalações de diversa natureza e ao maior número de materiais aplicados transformou a organização tradicional da construção civil. Esta passou, de uma instituição fortemente centralizada, que tudo executava, para uma organização descentralizada,

constituída por um número cada vez maior de gabinetes de estudo especializados e de sub-empreiteiros independentes. O «arquitecto» e o «engenheiro» encarregam-se da coordenação dos diversos trabalhos de projecto e o «engenheiro» ou o «construtor» da coordenação dos diversos intervenientes na construção dos edifícios, isto é, fornecedores de materiais e montadores, sub-empreiteiros de mão-de-obra, e de trabalhos complementares.

A resolução dos problemas postos nesta base exige, naturalmente, a existência de serviços complexos. A eficiência dos gabinetes de estudos e das empresas de construção é medida pela maneira como conseguem coordenar, de forma permanente, as diversas organizações que contribuem para a realização das obras. Isso exige já o recurso a um planeamento mais cuidadoso, em moldes novos.

3 — A época actual põe problemas que antes não existiam, resultantes do grande aumento da população do Mundo (duplicação em cerca de 40 anos) e da obrigação social de resolver os problemas materiais básicos de todos os homens, pondo à sua disposição os bens indispensáveis a uma via digna.

A maneira de conseguir tal objectivo é através da industrialização, que tem vindo a abranger cada vez mais actividades humanas, sendo a construção civil o último baluarte a conquistar.

Por «construção civil industrializada» entende-se a construção civil que utiliza métodos de técnica industrial com vista a estender, a esta actividade, o objectivo da industrialização que se traduz, neste caso, em obter edifícios em grande quantidade, a menor prazo, a preço mais baixo e de melhor qualidade.

Para conseguir tais resultados é indispensável, antes de mais nada, ter assegurado um mercado potencial suficiente para permitir à organização trabalhar com continuidade. Com efeito, não é possível amortizar em poucas unidades o custo das instalações industriais e não é viável montar em boas condições uma organização especializada sem garantias de continuidade. Considera-se que só é viável montar uma indústria de construção civil com a certeza de um mercado mínimo inicial de 4000 a 5000 fogos executando anualmente cerca de 1000 fogos, e repetindo-se cada tipo pelo menos 100 a 150 vezes.

Esta questão prende-se, naturalmente, com a política nacional de investimentos porque não é, em regra, possível, deixar à iniciativa privada o financiamento global necessário à resolução do problema da habitação, dados os montantes a dispender e a prática impossibilidade de reembolso a curto prazo, contando só com os directos interessados.

A produção industrial efectua-se numa fábrica, eliminando o trabalho sob a acção das intempéries e reduzindo a discontinuidade de emprego e a deslocação ou nomadismo, de um estaleiro para o outro, que caracteriza a construção tradicional.

As dimensões de um edifício são assaz grandes, da ordem de uma a muitas dezenas de metros, portanto muito superiores ao que as fábricas costumam produzir. Há, deste modo, que sub-dividir o edifício em elementos mais pequenos, cujo transporte seja viável, e cuja ligação se possa processar, na obra, em boas condições. Com efeito, dado o peso e o volume de uma construção, não é possível pensar na saída dos edifícios da fábrica já depois de completamente montados.

A produção industrial implica uma certa «repetição», isto é, não pode considerar a realização de um modelo único, embora possa executar qualquer modelo desde que ele se repita um número interessante de vezes. Convém aqui salientar que a repetição que se refere diz respeito aos «elementos» de construção e não, necessàriamente, ao conjunto dos edifícios.

Com efeito, a introdução do trabalho das máquinas só é rendável na produção em série, isto é, na produção de produtos iguais durante um período de razoável duração. É geralmente considerado que, nos trabalhos artezanais da construção, se obtém uma redução de custo de 10 a 20 % quando se repete dez vezes um mesmo trabalho. Nas actividades industriais este aspecto é, evidentemente, mais relevante, pois que não é possível uma organização económica do trabalho das máquinas e do pessoal se as tarefas a executar variarem constantemente.

Mas não é só na organização do trabalho que a repetição tem vantagens. É possível dispender mais dinheiro no projecto de uma grande unidade — levando muito mais longe o estudo — do que no caso de pequenas unidades que se não repetem. Daí um muito maior incentivo para a